

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky



Návrh solárního systému a akumulčního zásobníku

Solar System and Solar Tank Design

Student:

Bc. Pavel Richtár

Vedoucí práce:

doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Ostrava 2011

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Richtár**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení
Téma: **Návrh solárního systému a akumulčního zásobníku**
Solar System and Solar Tank Design

Zásady pro vypracování:

Navrhnete systém přípravy teplé vody a přitápění pro rodinný dům obydlený celoročně 5 osobami s využitím přímého slunečního záření.

Technická dokumentace bude obsahovat:

- 1) stanovení a zhodnocení tepelně-izolačních vlastností domu a potřeby tepla pro vytápění a přípravu TV
- 2) návrh solárního systému, kapacitní a bilanční výpočty
- 3) návrh solárního akumulčního zásobníku
- 4) stanovení environmentálního přínosu, ekonomické zhodnocení
- 5) výkresovou dokumentaci s koncepčním návrhem systému, dispozičním řešením a konstrukčním návrhem zásobníku

Seznam doporučené odborné literatury:

KAMINSKÝ J., VRTEK M. Obnovitelné zdroje energie. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998 . 102 s. ISBN 80–7078–445–8.

CIHELKA J. Solární tepelná technika. Praha: Malina, 1994 . 203 s. ISBN 80–900759–5–9.

HUMM O. Nízkoenergetické domy. Praha: Grada, 1999, 353 s. . ISBN 80–7169–657–9.

TURNER W. C. Energy Management Handbook. 3. vydání, Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 40 s. ISBN: 0–13–728098–X.

SMOLÍK, J. Technika prostředí. Praha: SNTL.ALFA, 1985.

MORAN, M.J., SHAPIRO, H.N. Fundamental of Engineering Thermodynamics. 2. vyd. New York: John Wiley&Sons, Inc., 1992. ISBN 0471076813.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 23.05.2011

.....

podpis

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 23.05.2011

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Pavel Richtár

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Rokycanova 266

Frýdek-Místek, 738 01

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

RICHTÁR, Pavel. *Návrh solárního systému a akumulčního zásobníku : diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2011, 83 s. Vedoucí práce: Vrtek, M.

Diplomová práce obsahuje návrh kombinovaného solárního systému pro přípravu teplé vody s přitápěním pro celoročně obydlený rodinný dům s využitím přímého slunečního záření. Počáteční kapitoly jsou věnovány výpočtu tepelných ztrát rodinného domu. Práce dále obsahuje konstrukční návrh solárního akumulčního zásobníku včetně výkresové dokumentace. Vlastní návrh solárního systému vychází z výpočtové potřeby tepla pro ohřev teplé vody a vytápění. Pro velikost plochy kolektorů je rozhodující tepelná bilance systému. V závěrečné části je stanoven environmentální přínos systému a také ekonomické zhodnocení s výpočtem prosté doby návratnosti investic, vložených do projektu.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

RICHTÁR, Pavel. *Solar System and Solar Tank Design : Master Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2011, 83 p. Thesis head: Vrtek, M.

This thesis contains the design of a combined solar system for preparing a warm water and heating for a year-round occupied family house with the use of direct solar radiation. The initial chapters have been dedicated to calculate the heat loss of a family house. This thesis contains a structural design of a solar tank with a drawing documentation too. This solar system's specific design has been derived from calculative heat consumption for preparing warm water and heating. Heat balance has been decisive for the solar collector area. The environmental asset of the system and economic evaluation within a period of return of investment costs for this project is found at the end of this thesis.

Obsah

	strana
Použitá označení, pojmy a zkratky	8
1 Úvod.....	18
2 Stanovení tepelných ztrát rodinného domu	18
2.1 Předpoklady pro výpočet dle ČSN 06 0210.....	19
2.2 Stanovení základní tepelné ztráty prostupem tepla.....	20
2.3 Stanovení tepelné ztráty prostupem tepla	21
2.4 Stanovení tepelné ztráty větráním.....	22
2.5 Stanovení celkové tepelné ztráty místnosti.....	23
2.6 Stanovení celkových tepelných ztrát rodinného domu	23
3 Využívání sluneční energie.....	24
3.1 Solární tepelné kolektory	27
3.2 Solární tepelné soustavy	28
3.2.1 Solární soustavy pro přípravu teplé vody.....	28
3.2.2 Solární soustavy pro přípravu teplé vody a vytápění	29
3.3 Solární akumulční zásobníky	29
4 Návrh solárního akumulčního zásobníku.....	30
4.1 Výpočet výměníku solárního okruhu.....	31
4.2 Výpočet výměníku kotlového okruhu.....	39
4.3 Konstrukční návrh nádoby solárního zásobníku.....	40
4.4 Volba elektrického topného tělesa	43
4.5 Časová konstanta a tepelné ztráty zásobníku.....	43
5 Návrh solárního systému pro přípravu TV a přitápění	45
5.1 Stanovení potřeby tepla pro přípravu TV	46
5.2 Stanovení potřeby tepla pro vytápění rodinného domu	48
5.3 Energetická bilance solárního systému	49
5.3.1 Množství využitého slunečního záření, doba provozu sol. čerpadla.....	49
5.3.2 Stanovení tepelné bilance solárního systému.....	51
5.4 Návrh solárního okruhu	56
5.4.1 Tlakové ztráty potrubí solárního okruhu	57
5.4.2 Návrh čerpadla solárního okruhu, určení provozního bodu.....	59
5.4.3 Návrh tlakové expanzní nádoby solárního okruhu.....	61
5.4.4 Pojistný ventil, expanzní a pojistné potrubí solárního okruhu.....	63

5.5	Návrh okruhu pro podporu vytápění.....	63
5.5.1	Tlakové ztráty potrubí okruhu pro podporu vytápění	63
5.5.2	Návrh čerpadla okruhu podpory vytápění, určení provozního bodu.....	64
5.5.3	Návrh tlakové expanzní nádoby okruhu podpory vytápění	65
5.5.4	Pojistný ventil, expanzní a pojistné potrubí okruhu podpory vytápění.....	66
5.6	Energetická bilance solárního systému	67
5.6.1	Solární čerpadlo a regulátor – přebytky nevyužity	67
5.6.2	Solární čerpadlo a regulátor – využity přebytky v přechod. obdobích	68
5.6.3	Solární čerpadlo a regulátor – využity veškeré přebytky.....	69
5.6.4	Celková roční energetická bilance solárního systému	69
6	Environmentální zhodnocení	71
6.1	Emise před instalací solárního systému	71
6.2	Emise po instalaci solárního systému	73
7	Návratnost investic	73
7.1	Ekonomický přínos solárního systému	73
7.2	Náklady na pořízení a instalaci solárního systému	75
7.3	Dotace	76
7.4	Stanovení prosté doby návratnosti investic	77
8	Závěr	78
9	Seznam použitých zdrojů.....	79
10	Seznam příloh	83

Použitá označení, pojmy a zkratky

Označení	Jednotka	Název
A	$[m^2]$	ochlazovaná plocha konstrukce
A	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	redukována teplota solárního kolektoru
A_a	$[m^2]$	celková plocha apertury kolektorového pole
A_a	$[m^2]$	plocha apertury kolektoru
A_{a_TV}	$[m^2]$	plocha apertury potřebná pro přípravu teplé vody
A_{a_TV+VYT}	$[m^2]$	plocha apertury potřebná pro TV a vytápění
A_G	$[m^2]$	hrubá obrysová plocha solárního kolektoru
A_k	$[m^2]$	vztažná plocha solárního kolektoru
A_{teor}	$[m^2]$	návrhová plocha apertury kolektorů
B	$[Pa^{0,67}]$	charakteristické číslo budovy
$Bilance_{TV}$	$[kWh \cdot měsíc^{-1}]$	tepelná bilance přípravy teplé vody
$Bilance_{TV+VYT}$	$[kWh \cdot měsíc^{-1}]$	tepelná bilance přípravy teplé vody a vytápění
$\check{C}Z$	$[hod]$	čerpadlo zapnuto (1 – ano, 0 – ne)
$\check{C}Z_{mes}$	$[hod]$	měsíční suma doby provozu čerpadla
D	$[K \cdot den]$	počet denostupňů
D	$[mm]$	vnější průměr klenutého dna
D	$[mm]$	vnější průměr trubky stěny solárního zásobníku
D_1	$[m], [mm]$	vnější průměr trubky solárního výměníku
D_1	$[mm]$	vnější průměr solárního zásobníku (bez izolace)
D_2	$[m], [mm]$	vnější průměr trubky výměníku kotlového okruhu
D_2	$[mm]$	vnější průměr solárního zásobníku (s izolací)
$Doprava$	$[Kč]$	náklady na dopravu
$Dotace$	$[Kč]$	výše finanční dotace
E_1	$[kWh \cdot rok^{-1}]$	roční spotřeba energie čerpadla solárního okruhu
E_2	$[kWh \cdot rok^{-1}]$	roční spotřeba energie čerpadla podpory vytápění
E_3	$[kWh \cdot rok^{-1}]$	roční spotřeba energie čerpadla topného okruhu
E_{reg}	$[kWh \cdot rok^{-1}]$	roční spotřeba energie solárního regulátoru
Fp	$[Kč \cdot rok^{-1}]$	ekonomický přínos solárního systému
G_b	$[W \cdot m^{-2}]$	přímé sluneční ozáření vodorovné roviny
G_{bn}	$[W \cdot m^{-2}]$	teoretické přímé ozáření plochy kolmé ke směru paprsků

G_{bT}	$[W \cdot m^{-2}]$	přímé sluneční ozáření dané plochy
G_d	$[W \cdot m^{-2}]$	difúzní sluneční ozáření vodorovné roviny
G_{dT}	$[W \cdot m^{-2}]$	difúzní sluneční ozáření dané plochy
GGh_{mes}	$[Wh \cdot m^{-2}]$	měsíční suma záření na horizontální plochu
G_{on}	$[W \cdot m^{-2}]$	hustota toku slunečního záření
Gr_1	$[1]$	Grashofovo kritérium pro topné médium
G_T	$[W \cdot m^{-2}]$	celkové sluneční ozáření dané plochy
$G_{T,m}$	$[W \cdot m^{-2}]$	střední denní hodnota slunečního ozáření
H_1	$[mm]$	vnější výška solárního zásobníku bez izolace
H_2	$[mm]$	vnější výška solárního zásobníku s izolací
H_{d_1}	$[m]$	výpočtová dopravní výška čerpadla solárního okruhu
H_{d_2}	$[m]$	výpočtová dopravní výška čerpadla podpory vytápění
$H_{d_skut_1}$	$[m]$	skutečná dopravní výška čerpadla solárního okruhu
$H_{d_skut_2}$	$[m]$	skutečná dopravní výška čerpadla okruhu podpory vytápění
$H_{T,den}$	$[kWh \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}]$	skutečná denní dávka slunečního ozáření
$H_{T,den,dif}$	$[kWh \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}]$	teoretická denní dávka difúzního ozáření
$H_{T,den,teor}$	$[kWh \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}]$	teoretická dávka celkového slunečního ozáření
H_{T_mes}	$[Wh \cdot m^{-2}]$	měsíční suma záření na plochu daného sklonu
$Instalace$	$[Kč]$	náklady na instalaci solárního systému
L	$[m]$	délka otevíratelných částí oken a dveří
M	$[1]$	charakteristické číslo místnosti
$Materiál$	$[Kč]$	cena materiálu solárního systému a zásobníku OV
$Náklady$	$[Kč]$	celkové investiční náklady na solární systém
Nu_1	$[1]$	Nusseltovo kritérium pro topné médium
Nu_2	$[1]$	Nusseltovo kritérium pro ohřívané médium
P	$[kW]$	výkon elektrického topného tělesa
P_1	$[kW]$	příkon čerpadla solárního okruhu
P_2	$[kW]$	příkon čerpadla okruhu pro podporu vytápění
P_3	$[kW]$	příkon čerpadla topného okruhu
P_a	$[Pa]$	počáteční tlak
P_k	$[W \cdot m^{-2}]$	výkon využitý solárním kolektorem
Pr_1	$[1]$	Prandtlovo kritérium pro topné médium
Pr_2	$[1]$	Prandtlovo kritérium pro ohřívané médium
P_{reg}	$[W]$	příkon solárního regulátoru

Pr_s	[1]	Prandtlovo kritérium pro stěnu
Pr_{s1}	[1]	zpřesněné Prandtlovo kritérium pro topné médium
Pr_{s2}	[1]	zpřesněné Prandtlovo kritérium pro ohřívané médium
Q_1	$[l \cdot \min^{-1}]$	návrhový objemový průtok solární kapaliny
Q_{1_skut}	$[l \cdot \min^{-1}]$	skutečný objemový průtok solárním okruhem
Q_2	$[l \cdot \min^{-1}]$	návrhový objemový průtok topné vody
Q_{2_skut}	$[l \cdot \min^{-1}]$	skutečný objemový průtok okruhem podpory vytápění
Q_c	[W]	celková tepelná ztráta
Q_{c_zaokr}	[W]	zaokrouhlená celková tepelná ztráta dle ČSN 06 0210
Q_i	$[MJ \cdot m^{-3}]$, $[kWh \cdot m^{-3}]$ $[MJ \cdot kg^{-1}]$, $[kWh \cdot kg^{-1}]$	výhřevnost
Q_k	$[Wh \cdot m^{-2}]$	energie využitá solárním kolektorem
Q_{k_mes}	$[Wh \cdot m^{-2}]$	měsíční suma energie využitá kolektorem
$Q_{m,max}$	$[kWh \cdot m^{-2}]$	maximální měrný zisk solárního systému
$Q_{m,TV}$	$[kWh \cdot m^{-2}]$	měrný zisk pro přípravu TV solárním systémem
Q_{max}	$[kWh \cdot \text{měsíc}^{-1}]$	maximální využitelná solární energie
Q_n	$[MJ \cdot m^{-3}]$	spalné teplo
Q_o	[W]	základní tepelná ztráta prostupem tepla
Q_p	[W]	tepelná ztráta prostupem tepla
$Q_{před}$	[W]	množství tepla předané za sekundu – tepelný výkon
Q_{TV}	$[kWh \cdot \text{měsíc}^{-1}]$	potřeba tepla pro přípravu teplé vody (včetně ztrát)
Q_{TV_rok}	$[kWh \cdot \text{rok}^{-1}]$	celková roční potřeba tepla pro přípravu teplé vody
Q_{TV_teor}	$[kWh \cdot \text{měsíc}^{-1}]$	teoretická potřeba tepla pro přípravu teplé vody
Q_v	[W]	tepelná ztráta větráním
Q_{VYT}	$[kWh \cdot \text{měsíc}^{-1}]$	potřeba tepla pro vytápění
Q_{VYT_rok}	$[kWh \cdot \text{rok}^{-1}]$	celková roční potřeba tepla pro vytápění
Q_z	[W]	jmenovitá tepelná ztráta objektu
R	[m]	poloměr vinutí výměníku
R	[mm]	rádius R klenutého dna
Ra_2	[1]	Rayleighovo kritérium pro ohřívané médium
Re_1	[1]	Reynoldsovo kritérium pro topné médium
Re_{kr}'	[1]	spodní kritická hodnota Reynoldsova kritéria
Re_{kr}''	[1]	horní kritická hodnota Reynoldsova kritéria

S	$[m^2]$	ochlazovaná plocha konstrukce
S	$[m^2]$	výpočtová teplosměnná plocha výměníku
S_0	$[mm^2]$	minimální průtočný průřez sedla pojistného ventilu
S_I	$[m^2]$	výpočtová plocha výměníku vynásobená k_B
S_{KO}	$[m^2]$	konstrukční plocha výměníku kotlového okruhu
S_{SOL}	$[m^2]$	konstrukční plocha solárního výměníku
S_z	$[m^2]$	ochlazovaný povrch solárního zásobníku
$Tep. ztráta$	$[kWh \cdot (24h)^{-1}]$	tepelná ztráta solárního zásobníku
TZL	$[kg \cdot rok^{-1}]$	roční emise tuhých znečišťujících látek
U	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel prostupu tepla ochlazované konstrukce
U	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel prostupu tepla solárního kolektoru
V	$[m^3]$	vnitřní objem solárního zásobníku
V_I	$[l]$	objem kapaliny v solárním systému
V_I	$[l \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}]$	návrhový objemový průtok kapaliny kolektorem
V_2	$[l]$	objem kapaliny v okruhu pro podporu vytápění a zásobníku otopné vody
V_2	$[l \cdot h^{-1}]$	návrhový objemový průtok teplé vody
V_{2p}	$[l \cdot den^{-1}]$	celková spotřeba teplé vody za den
V_{anoda}	$[m^3]$	objem anody
V_{DESK}	$[l]$	objem kapaliny v deskovém výměníku
V_{dna}	$[m^3]$	celkový vnitřní objem klenutého dna
V_{EN}	$[l]$	objem tlakové expanzní nádoby
$V_{EN,min}$	$[l]$	minimální objem tlakové expanzní nádoby
V_{KO}	$[m^3]$	konstrukční vnější objem kotlového výměníku
V_{KOL}	$[l]$	objem kapaliny v solárním kolektoru
V_m	$[m^3]$	vnitřní objem místnosti
V_{potr}	$[l]$	vnitřní objem 1 m trubky solárního okruhu
V_{prv}	$[m^3]$	celkový objem vnitřních prvků solárního zásobníku
V_s	$[l]$	minimální množství teplonosné kapaliny
V_{skut}	$[m^3]$	skutečný vnitřní objem solárního zásobníku
V_{SOL}	$[l]$	vnitřní objem 1 m výměníku v solárním zásobníku
V_{SOL}	$[m^3]$	konstrukční vnější objem solárního výměníku
V_{tep}	$[m^3]$	vnější objem jímek pro čidla teploty
V_{top}	$[m^3]$	objem elektrického topného tělesa
V_{trub}	$[m^3]$	vnitřní objem trubky stěny solárního zásobníku

$V_{TV,os}$	$[l \cdot den^{-1}]$	spotřeba teplé vody na osobu za den
V_v	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	objemový tok větracího vzduchu
V_{valc}	$[m^3]$	vnitřní objem válcové části klenutého dna
V_{vH}	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	potřebný objemový tok větracího vzduchu
V_{vP}	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	objemový tok větracího vzduchu při infiltraci
V_{vrch}	$[m^3]$	vnitřní objem vrchlíku klenutého dna
$V_{ZÁS}$	$[l]$	vnitřní objem zásobníku otopné vody
Z	$[1]$	součinitel znečištění (zákalu) atmosféry
$Zisk$	$[kWh \cdot rok^{-1}]$	celkový roční zisk energie solárního systému
$Zisk_{TV}$	$[kWh \cdot měsíc^{-1}]$	zisk solární energie pro přípravu teplé vody
$Zisk_{TV+prebytky}$	$[kWh \cdot měsíc^{-1}]$	zisk solární energie pro přípravu teplé vody a podporu vytápění v přechodných obdobích
$\%Zisk_{reg}$	$[\%]$	$\%$ ze zisku pro provoz solárního regulátoru
$\%Zisk_1$	$[\%]$	$\%$ ze zisku pro pohon solárního čerpadla
$\%Zisk_2$	$[\%]$	$\%$ ze zisku pro pohon čerpadla podpory vytápění
$\%Zisk_3$	$[\%]$	$\%$ ze zisku pro pohon čerpadla topného okruhu
a_1	$[W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}]$	koeficient lineární tepelné ztráty kolektoru
a_2	$[W \cdot K^{-2} \cdot m^{-2}]$	koeficient kvadratické tepelné ztráty kolektoru
a_{a1}	$[m^2]$	účinná plocha apertury solárního kolektoru
a_s	$[^\circ]$	azimut (úhel odklonu kolektorů od jihu)
c_{p2}	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita teplé vody
$c_{pal+ksc}$	$[K\check{c} \cdot m^{-3}]$	konečná měrná cena zemního plynu
c_{pTV}	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita teplé vody
d	$[1]$	počet otopných dnů (pracovní dny soustavy)
d	$[mm]$	vnitřní průměr klenutého dna
d_1	$[m], [mm]$	vnitřní průměr trubky solárního výměníku
d_1	$[mm]$	vnitřní průměr solárního zásobníku
d_2	$[m], [mm]$	vnitřní průměr trubky výměníku kotlového okruhu
d_{ekv}	$[1]$	ekvivalentní průměr trubky
d_p	$[mm]$	minimální průměr pojistného potrubí
d_{SOL}	$[m]$	vnitřní průměr solárního výměníku v zásobníku TV
d_v	$[mm]$	minimální průměr expanzního potrubí
f	$[kg \cdot 10^{-6} \cdot m^{-3} \text{ spál. plynu}]$ $[kg \cdot t^{-1} \text{ spál. paliva}]$	emisní faktor

f_{sol}	[%]	využití získatelné solární energie pro ohřev TV
f_{TV}	[%]	pokrytí přípravy teplé vody solárním systémem
g	$[m \cdot s^{-2}]$	gravitační zrychlení
h	[°]	výška Slunce nad obzorem (úhel)
h	[mm]	výška klenutého dna
h_1	[mm]	vnitřní výška solárního zásobníku
h_1	[mm]	výška h_1 klenutého dna
h_2	[mm]	výška h_2 klenutého dna
h_3	[mm]	výška h_3 klenutého dna
h_s	[m]	výška sloupce kapaliny nad připojením expanzní nádoby
i_{LV}	$[m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	součinitel spárové průvzdušnosti
k	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel prostupu tepla ochlazované konstrukce
k	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel prostupu tepla rovinnou stěnou
k_B	[1]	koeficient bezpečnosti
k_c	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	průměrný součinitel prostupu tepla
k_l	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	součinitel prostupu tepla válcovou stěnou
k_{sc}	$[K\check{c} \cdot m\check{s}íc^{-1}]$	kapacitní složka ceny zemního plynu
l	[m]	výpočtová délka výměníku
l_1	[m]	délka přímých částí potrubí solárního okruhu
l_1	[m]	výpočtová délka výměníku vynásobená k_B
l_{KO}	[m]	konstrukční délka výměníku kotlového okruhu
l_{potr}	[m]	délka potrubí solárního okruhu
l_{SOL}	[m]	délka solárního výměníku v solárním zásobníku
l_{SOL}	[m]	konstrukční délka solárního výměníku
l_{trub}	[mm]	délka trubky stěny solárního zásobníku
m	$[kg \cdot h^{-1}]$	ohřívané množství vody
m_1	$[kg \cdot h^{-1}]$	výpočtový hmotnostní průtok v potrubí sol. systému
m_2	$[kg \cdot h^{-1}]$	výpočtový hmotnostní průtok teplé vody
m_{pal}	$[m^3 \cdot rok^{-1}]$	spotřeba paliva
	$[kg \cdot rok^{-1}]$	
n	[1]	pořadí dne v roce
$náklady_{pal}$	$[K\check{c} \cdot rok^{-1}]$	roční náklady na palivo
n_h	$[h^{-1}]$	potřebná intenzita výměny větracího vzduchu
n_m	$[h^{-1}]$	intenzita výměny vzduchu infiltrací

os	$[1]$	počet osob
p_1	$[1]$	přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí
p_2	$[1]$	přirážka na urychlení zátopu
p_3	$[1]$	přirážka na světovou stranu
p_b	$[kPa]$	atmosférický (barometrický) tlak
p_d	$[kPa]$	minimální tlak v nejvyšším místě soustavy
p_e	$[kPa]$	maximální provozní tlak soustavy
pk	$[1]$	počet kolektorů
pk	$[1]$	počet solárních kolektorů
p_o	$[kPa]$	minimální provozní tlak soustavy
p_{PV}	$[kPa]$	otevírací tlak pojistného ventilu
p_v	$[kPa]$	přetlak plynu nad membránou expanzní nádoby
q_l	$[kW \cdot m^{-1}]$	tepelný tok 1 m trubky (výměníku)
r	$[mm]$	rádius r klenutého dna
s	$[mm]$	tloušťka stěny klenutého dna
t	$[mm]$	tloušťka trubky stěny solárního zásobníku
t_1	$[^{\circ}C]$	vstupní teplota média do kolektoru
t_2	$[^{\circ}C]$	výstupní teplota média z kolektoru
t_a	$[^{\circ}C]$	teplota okolního vzduchu (exteriéru)
t_{abs}	$[^{\circ}C]$	střední teplota povrchu absorbéru kolektoru
t_e	$[^{\circ}C]$	teplota okolního vzduchu (exteriéru)
t_e	$[^{\circ}C]$	výpočtová venkovní teplota
t_{ep}	$[^{\circ}C]$	střední teplota venkovního vzduchu
t_{ev}	$[^{\circ}C]$	výpočtová venkovní teplota
t_{ez}	$[^{\circ}C]$	výpočtová teplota přilehlé zeminy pod podlahou
t_i	$[^{\circ}C]$	výpočtová teplota ve vytápěných místnostech
t_{ip}	$[^{\circ}C]$	střední vnitřní teplota ve vytápěných místnostech
t_{iv}	$[^{\circ}C]$	výpočtová vnitřní teplota v daném měsíci
t_{ln}	$[^{\circ}C]$	střední logaritmický teplotní spád výměníku
t_s	$[^{\circ}C]$	střední teplota absorbéru solárního kolektoru
t_{st}	$[^{\circ}C]$	střední teplota stěny
t_{st_1}	$[^{\circ}C]$	teplota stěny na straně topného média
t_{st_2}	$[^{\circ}C]$	teplota stěny na straně ohřívání média
t_{SV}	$[^{\circ}C]$	teplota studené vody z vodovodu
tt_1	$[^{\circ}C]$	střední teplota topného média

tt_1'	$[^{\circ}\text{C}]$	vstupní teplota topného média
tt_1''	$[^{\circ}\text{C}]$	výstupní teplota topného média
tt_2	$[^{\circ}\text{C}]$	střední teplota ohřívaného média
tt_2'	$[^{\circ}\text{C}]$	vstupní teplota ohřívaného média
tt_2''	$[^{\circ}\text{C}]$	výstupní teplota ohřívaného média
t_{TV}	$[^{\circ}\text{C}]$	požadovaná teplota teplé vody
t_{TV_teor}	$[^{\circ}\text{C}]$	teoretická teplota teplé vody
v	$[\%]$	přirážka na pokrytí tepelných ztrát topného systému
w_1	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$	rychlost proudění solární teplonosné kapaliny
w_2	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$	rychlost proudění otopné vody v okruhu podpory vytápění
z	$[\%]$	tepelné ztráty systému přípravy teplé vody
$\Delta emise$	$[\%]$	snížení produkce emisí
$\Delta naklady_{pal}$	$[\%]$	roční úspora nákladů na palivo
Δp_c	$[\text{Pa}]$	celková tlaková ztráta
Δp_{DESK}	$[\text{Pa}]$	tlaková ztráta deskového výměníku
Δp_{KOL}	$[\text{Pa}]$	tlaková ztráta kolektorového pole
Δp_{SOL}	$[\text{Pa}]$	tlaková ztráta solárního výměníku v zásobníku TV
Δp_{λ}	$[\text{Pa}]$	třecí tlaková ztráta přímých částí potrubí
Δp_{ξ}	$[\text{Pa}]$	místní tlaková ztráta armatur a tvarovek
Δt	$[^{\circ}\text{C}]$	tepelný spád na výměníku
Φ	$[\text{m}], [\text{mm}]$	označení průměru trubky, solárního zásobníku
α	$[^{\circ}]$	sklon kolektorů
α	$[1]$	pohltivost slunečního záření absorberu kolektoru
α_1	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$	součinitel přestupu tepla na straně topného média
α_1	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně stěny
α_2	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$	součinitel přestupu tepla na straně ohřívaného média
α_2	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$	součinitel přestupu tepla na vnější straně stěny
β	$[^{\circ}]$	sklon kolektorů
β_1	$[1\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}]$	součinitel objemové teplotní roztažnosti topného média
β_2	$[1\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}]$	součinitel objemové teplotní roztažnosti ohřívaného média

ε	[1]	činitel závisující na výšce Slunce nad obzorem a nadmořské výšce
ε	[1]	korekční součinitel
ε_l	[1]	opravný součinitel pro délku výměníku
ε_n	[1]	součinitel nesoučasnosti
ε_R	[1]	opravný součinitel pro proudění koleny a hady
ε_r	[1]	součinitel regulace
ε_s	[1]	součinitel vlivu otopného systému
ε_t	[1]	součinitel zvýšení teploty
ε_u	[1]	součinitel útlumu teplot
η_k	[1], [%]	účinnost solárního kolektoru
η_{kotle}	[1], [%]	účinnost kotle
η_o	[1]	optická účinnost solárního kolektoru
η_{real}	[1], [%]	reálná účinnost solárního kolektoru
$\overline{\eta}_{real}$	[1], [%]	měsíční průměrná reálná účinnost kolektoru
θ	[°]	úhel dopadu slunečního záření
λ	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	součinitel tepelné vodivosti materiálu
λ_1	[1]	součinitel třecí ztráty solárního okruhu
λ_1	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	součinitel tepelné vodivosti topného média
λ_2	[1]	součinitel třecí ztráty okruhu podpory vytápění
λ_2	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	součinitel tepelné vodivosti ohřívaného média
ν_1	[m ² ·s ⁻¹]	kinematická viskozita topného média
ζ	[1]	součinitel místní ztráty
ρ_1	[kg·m ⁻³]	hustota teplotnosné kapaliny
ρ_2	[kg·m ⁻³]	hustota teplé vody
ρ_g	[1]	odrazivost vodorovné roviny (albedo)
ρ_{TV}	[kg·m ⁻³]	hustota teplé vody
τ	[1]	propustnost slunečního záření zasklením kolektoru
τ	[hod]	dobu ohřevu požadovaného množství teplé vody
τ_1	[hod]	čas východu Slunce nad obzor
τ_1	[hod]	dobu provozu čerpadla solárního okruhu
τ_2	[hod]	čas západu Slunce za obzor
τ_2	[hod]	dobu provozu čerpadla okruhu podpory vytápění
τ_3	[hod]	dobu provozu čerpadla topného okruhu
τ_o	[dny]	časová konstanta solárního zásobníku

τ_{pol}	[dny]	poločas ochlazování solárního zásobníku
τ_r	[1]	poměrná doba slunečního svitu
τ_{skut}	[hod]	skutečná doba slunečního svitu
τ_{teor}	[hod]	teoretická doba slunečního svitu

Použité pojmy:

Meteonorm	- databáze, obsahuje hodnoty ozáření plochy dané orientace a sklonu celkovým slunečním zářením pro určitou lokalitu - obsahuje průměrné teploty studené vody pro určitou lokalitu - hodnoty pro tzv. běžný rok (data za určitý časový úsek v minulosti, po který se údaje sledují)
MIRELON [®]	- nezesíťený pěnový polyetylén, max. provozní teplota 95 °C
SOLAREN [®]	- teplonosná kapalina pro solární systémy, výrobce Velvana, a.s. - směs vody a 1,2-propylenglykolu v poměru 50/50 s inhibitory koroze a ochrannou přísadou proti náhodnému požití
selektivní povrch	- vyznačuje se nízkou odrazivostí v oblasti vlnových délek 0,3 až 3 μm a vysokou odrazivostí v infračerveném spektru 3 až 50 μm - např. Sunselect, TiNOx [11]
stratifikace	- teplotní rozvrstvení vody v zásobníku podle hustoty vrstev

Použité zkratky:

DPH	- daň z přidané hodnoty
OV	- otopná voda
PE	- polyetylén
RD	- rodinný dům
SFŽP	- Státní fond životního prostředí ČR
SV	- studená voda
TV	- teplá voda
TZL	- tuhé znečišťující látky

1 Úvod

V této diplomové práci budu navrhovat vhodné řešení systému přípravy teplé vody a přitápění pro rodinný dům obydlený celoročně 5 osobami s využitím přímého slunečního záření. Součástí práce bude výpočet a konstrukční návrh solárního akumulčního zásobníku včetně výkresové dokumentace (výkres sestavení). V závěrečné části práce provedu stanovení environmentálního přínosu daného systému (snížení vypouštěných emisí) a také ekonomické zhodnocení s výpočtem prosté doby návratnosti investičních nákladů.

Hodnoty slunečního záření, které je možno během roku v dané lokalitě využít budou získány z databáze Meteonorm, kde jsou dostupné údaje pro tzv. běžný rok, zohledňující počet dnů, kdy je jasno a naopak zataženo. Je zde také zahrnut tzv. součinitel zákalu atmosféry a udány teploty studené vody ve vodovodu.

2 Stanovení tepelných ztrát rodinného domu

Tepelné ztráty rodinného domu budou, dle doporučení vedoucího diplomové práce, počítány dle normy ČSN 06 0210 (dnes již neplatná). Při výpočtu nebylo uvažováno s trvalými tepelnými zisky. Jejich stanovení pro danou aplikaci je nejednoznačné a na celkové tepelné ztrátě se projeví minimálně. Takto uvažovaný výpočet bude na straně bezpečnosti.

Nemovitost se nachází v obci Baška, okres Frýdek-Místek v Moravskoslezském kraji. Jde o nepodsklepený poschodový rodinný dům s obytným podkrovím a dvojgaráží. Obvodové stěny jsou zatepleny izolačními deskami typu FASROCK, výrobce ROCKWOOL, a.s., střecha je opatřena parotěsnou zábranou a mezi trámy zateplena minerální vatou. Dům byl zkolaudován v roce 2005 a od té doby je nepřetržitě obydlen. Pokrytí tepelných ztrát je realizováno ústředním topením. Soustava je kombinovaná – podlahové vytápění určitých místností v přízemí a také koupelny v prvním patře (podkroví) doplněné otopnými tělesy v ostatních vytápěných místnostech. Jako zdroj tepelné energie slouží plynový kotel DAKON DUA, výkon 28 kW nebo kotel na tuhá paliva o výkonu 14 kW (palivo dřevo).



Obr. 2.1 – Rodinný dům, pro který jsou počítány tepelné ztráty [Foto autor]

2.1 Předpoklady pro výpočet dle ČSN 06 0210

Pro oblast, ve které stojí řešený rodinný dům, je dle [10] vnější výpočtová teplota $t_e = -15\text{ °C}$. Ze stejného zdroje byly určeny i další teploty nutné pro výpočet.

Tab. 2.1.1 – Výpočtové teploty potřebné pro stanovení tepelných ztrát

Teplota ve vnitřních vytápěných místnostech t_i					
Označení místnosti	Název místnosti	Vnitřní výpočtová teplota	Označení místnosti	Název místnosti	Vnitřní výpočtová teplota
M 1.1	Koupelna 1	24 °C	M 1.9	WC	20 °C
M 1.2	Ložnice 1	20 °C	M 2.1	Koupelna 2	24 °C
M 1.3	Obývací pokoj 1	20 °C	M 2.2	Obývací pokoj 2	20 °C
M 1.4	Kuchyně	20 °C	M 2.3	Ložnice 2	20 °C
M 1.5	Předsíň 1	15 °C	M 2.4	Pracovna	20 °C
M 1.6	Zádveří	15 °C	M 2.6	Dílna	20 °C
M 1.7	Garáž	5 °C	M 2.7	Komora	15 °C
Teplota v nevytápěných místnostech t_i a teplota přilehlé zeminy t_{ez}					
M 1.8	Kotelna	20 °C	Teplota přilehlé zeminy pod podlahou t_{ez} při výpočtové venkovní teplotě t_e		5 °C
M 2.5	Předsíň 2	15 °C			
M 3.1	Půda	0 °C			
Nevytápěné podkroví		0 °C			

Pro ukázkou uvedu výpočet tepelných ztrát místnosti **M 1.1 Koupelna 1**. Stejný postup s užitím shodných vztahů byl použit i pro výpočet tepelných ztrát ostatních místností domu. Tepelné ztráty byly počítány pro každou místnost zvlášť vzhledem k vnějšímu prostředí – obálková metoda. Hodnoty součinitelů tepelné vodivosti jednotlivých materiálů, součinitelů průvzdušnosti oken, střešních oken a dveří byly získány přednostně od výrobce [30], [31], [33]. Pokud potřebný údaj nebyl k dispozici, byl volen dle konstrukce daného prvku podle tabulek, vytvořených na základě norem [15] a dalších zdrojů [29].

2.2 Stanovení základní tepelné ztráty prostupem tepla

Výpočet součinitele prostupu tepla (pro ukázkou vnější obvodová stěna SO1):

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2.2.1)$$

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,6} + \frac{0,4}{0,155} + \frac{0,005}{0,8} + \frac{0,06}{0,039} + \frac{0,01}{0,8} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{1}{23}} = \underline{\underline{0,23 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}}}$$

Pozn. Hodnoty součinitelů α_1 a α_2 z literatury [15], viz. ČSN 73 0540-3:1994.

Tab. 2.2.1 – Tabulka výpočtových parametrů konstrukcí místnosti M 1.1 Koupelna 1

SO1 - vnější obvodová stěna	k_1 (U) = 0,23 W/(m²·K)	S_1 (A) = 14,19 m²
- vnitřní tenkovrstvá sádrová omítka BAUMIT	$\lambda_1 = 0,6 \text{ W/(m·K)}$	$l_1 = 0,01 \text{ m}$
- zdivo POROTHERM 40 P+D	$\lambda_2 = 0,155 \text{ W/(m·K)}$	$l_2 = 0,4 \text{ m}$
- lepicí stěrka BAUMIT	$\lambda_3 = 0,8 \text{ W/(m·K)}$	$l_3 = 0,005 \text{ m}$
- tuhá tepelně izolační deska Fasrock ROCKWOOL	$\lambda_4 = 0,039 \text{ W/(m·K)}$	$l_4 = 0,06 \text{ m}$
- lepicí stěrka BAUMIT	$\lambda_5 = 0,8 \text{ W/(m·K)}$	$l_5 = 0,01 \text{ m}$
- silikonová fasádní omítka BAUMIT	$\lambda_6 = 0,7 \text{ W/(m·K)}$	$l_6 = 0,02 \text{ m}$
SO2 - sokl	k_2 (U) = 0,30 W/(m²·K)	S_2 (A) = 1,66 m²
- vnitřní tenkovrstvá sádrová omítka BAUMIT	$\lambda = 0,6 \text{ W/(m·K)}$	$l = 0,01 \text{ m}$
- zdivo POROTHERM 40 P+D	$\lambda = 0,155 \text{ W/(m·K)}$	$l = 0,4 \text{ m}$

- lepicí stěrka BAUMIT	$\lambda = 0,8 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	$l = 0,005 \text{ m}$
- extrudovaný polystyrén Styrodur 2800	$\lambda = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	$l = 0,02 \text{ m}$
- lepicí stěrka BAUMIT	$\lambda = 0,8 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	$l = 0,01 \text{ m}$
- betonový obklad	$\lambda = 1,23 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	$l = 0,02 \text{ m}$
Pdl1 - podlaha (povrch dlažba)	$k_3 (U) = 0,69 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$	$S_3 (A) = 5,13 \text{ m}^2$
- dlažba	$\lambda = 1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	$l = 0,01 \text{ m}$
- cementový potěr	$\lambda = 1,16 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	$l = 0,015 \text{ m}$
- podkladní beton	$\lambda = 1,36 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	$l = 0,03 \text{ m}$
- extrudovaný polystyrén Styrodur 2800	$\lambda = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	$l = 0,04 \text{ m}$
- izolace proti radonu a vlhkosti FOALBIT	$\lambda = 0,21 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	$l = 0,005 \text{ m}$
- vyrovnávací beton s vloženou ocelovou mřížovinou 150/150	$\lambda = 1,43 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	$l = 0,1 \text{ m}$
OJ1 - okno jednoduché	$k_4 (U) = 1,24 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$	$S_4 (A) = 0,66 \text{ m}^2$
- dřevěné EURO okno TWW, profil IV 68 mm, izolační dvojsklo		

Vysvětlení označení: k je součinitel prostupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$], $S (A)$ plocha ochlazované části konstrukce [m^2], λ součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], l tloušťka vrstvy materiálu [m].

Základní tepelná ztráta prostupem tepla:

$$\dot{Q}_o = k_1 \cdot S_1 \cdot (t_i - t_{e1}) + k_2 \cdot S_2 \cdot (t_i - t_{e2}) + \dots + k_n \cdot S_n \cdot (t_i - t_{en}) \quad (2.2.2)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_o &= 0,23 \cdot 14,19 \cdot (24 - (-15)) + 0,30 \cdot 1,66 \cdot (24 - (-15)) + \\ &\quad + 0,69 \cdot 5,13 \cdot (24 - (-15)) + 1,24 \cdot 0,66 \cdot (24 - (-15)) = \underline{\underline{245,5 \text{ W}}} \end{aligned}$$

kde t_i je výpočtová vnitřní teplota v místnosti, t_e je výpočtová venkovní teplota.

2.3 Stanovení tepelné ztráty prostupem tepla

Průměrný součinitel prostupu tepla všech konstrukcí místnosti:

$$k_c = \frac{\dot{Q}_o}{\Sigma S \cdot (t_i - t_e)} \quad (2.3.1)$$

$$k_c = \frac{245,5}{(14,19 + 1,66 + 5,13 + 0,66) \cdot (24 - (-15))} = \underline{\underline{0,29 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}}}$$

Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí:

$$p_1 = 0,15 \cdot k_c = 0,15 \cdot 0,29 = \underline{\underline{0,044}} \quad (2.3.2)$$

Přirážka na urychlení zátoku:

$$p_2 = \underline{\underline{0}} \quad (2.3.3)$$

Pozn. Přirážku na urychlení zátoku neuvažují, neboť pro bytovou výstavbu se při výpočtové venkovní teplotě předpokládá nepřerušované vytápění [10].

Přirážka na světovou stranu:

$$p_3 = \underline{\underline{0,05}} \quad (2.3.4)$$

Pozn. Přirážku na světovou stranu určuje poloha nejvíce ochlazované stavební konstrukce místnosti, při více ochlazovaných konstrukcích poloha společného rohu, při třech ochlazovaných konstrukcích se uvažuje nejvyšší přirážka [10].

Tepelná ztráta prostupem tepla:

$$\dot{Q}_p = \dot{Q}_o \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) \quad (2.3.5)$$

$$\dot{Q}_p = 245,5 \cdot (1 + 0,044 + 0 + 0,05) = \underline{\underline{268,5 \text{ W}}}$$

2.4 Stanovení tepelné ztráty větráním

Tab. 2.4.1 – Tabulka hodnot pro výpočet tepelné ztráty větráním **M 1.1 Koupelna 1**

Veličina	Hodnota
Součinitel spárové průvzdušnosti oken i_{LV}	$0,00004 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}$
Délka spár otvíratelných částí oken L	2,856 m
Součet průvzdušnosti oken $\Sigma(i_{LV} \cdot L)$	$0,00011 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}$
Charakteristické číslo budovy B	$8 \text{ Pa}^{0,67}$
Charakteristické číslo místnosti M	0,7
Vnitřní objem místnosti V_m	$13,069 \text{ m}^3$
Potřebná intenzita výměny větracího vzduchu n_h	$0,5 \text{ h}^{-1}$ [9]

Potřebný průtok větracího vzduchu:

$$\dot{V}_{vH} = \frac{n_h}{3600} \cdot V_m = \frac{0,5}{3600} \cdot 13,069 = \underline{\underline{0,00182 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}} \quad (2.4.1)$$

Intenzita výměny vzduchu infiltrací:

$$n_m = \frac{3600 \cdot \Sigma(i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M}{V_m} = \frac{3600 \cdot 0,00011 \cdot 8 \cdot 0,7}{13,069} = \underline{\underline{0,2 \text{ h}^{-1}}} \quad (2.4.2)$$

Objemový tok větracího vzduchu při větrání infiltrací:

$$\dot{V}_{vP} = \Sigma(i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M = 0,00011 \cdot 8 \cdot 0,7 = \underline{\underline{0,00064 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}} \quad (2.4.3)$$

Tepelná ztráta větráním:

$$\dot{Q}_v = 1300 \cdot \dot{V}_v \cdot (t_i - t_e) \quad (2.4.4)$$

$$\dot{Q}_v = 1300 \cdot \dot{V}_{vH} \cdot (t_i - t_e) = 1300 \cdot 0,00182 \cdot (24 - (-15)) = \underline{\underline{92 \text{ W}}}$$

Pozn. Za hodnotu V_v se dosadí větší z hodnot V_{vH} a V_{vP} .

2.5 Stanovení celkové tepelné ztráty místnosti

Celková tepelná ztráta místnosti:

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_p + \dot{Q}_v - \dot{Q}_z \quad (2.5.1)$$

$$\dot{Q}_c = 268,5 + 92 - 0 = \underline{\underline{360,5 \text{ W}}} \cong \underline{\underline{370 \text{ W}}}$$

Pozn. Tepelné zisky Q_z neuvažovány, výsledná tepelná ztráta zaokrouhlena dle [10].

2.6 Stanovení celkových tepelných ztrát rodinného domu

Celkovou tepelnou ztrátu rodinného domu získáme sečtením tepelných ztrát všech místností a činí $Q_c = 9\,829,2 \text{ W}$.

Tab. 2.6.1 – Procentuální podíl jednotlivých tepelných ztrát místností rodinného domu

Druh tepelné ztráty	Tepelná ztráta [W]	Procentuální podíl [%]
Prostupem tepla	6 750,7	68,7
Větráním	3 078,5	31,3
Celkem	9 829,2	100,0

Pozn. Uvedené hodnoty jsou součty tepelných ztrát prostupem tepla a větráním všech místností v domě bez uvažování závěrečného zaokrouhlování celkové tepelné ztráty každé místnosti dle [10].

Celková tepelná ztráta rodinného domu včetně zaokrouhlení celkových ztrát jednotlivých místností dle [10] je $Q_{c_zaokr} = 10\,100\text{ W}$.

3 Využívání sluneční energie [1]

Záření ze Slunce není na cestě k Zemi ničím pohlcováno a na hranici zemské atmosféry přichází v původní podobě, v jaké opustilo Slunce, ovšem se zmenšenou hustotou zářivého toku. Z celkového tepelného výkonu vyzařovaného Sluncem dopadají na Zemi pouze dvě miliardytiny, což odpovídá hodnotě $7,7 \cdot 10^{17}\text{ kW}$ [1]. Střední roční hodnota zářivého toku sluneční energie, dopadající na jednotku plochy kolmou ke směru šíření záření na vnější povrch zemské atmosféry, při průměrné vzdálenosti Slunce od Země, se nazývá sluneční konstanta. Její hodnota přijatá v roce 1981 Světovou meteorologickou organizací (WMO) je $G_{sc} = 1\,367\text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \pm 1\%$ [1]. Hustota toku slunečního záření není během roku konstantní. Mění se o cca 3 % dle:

$$G_{on} = G_{sc} \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365} \right) \quad (3.1)$$

kde n je pořadí dne v roce. Při průchodu záření atmosférou dochází k rozptylu na kapičkách vody, krystalcích ledu a částicích prachu v ovzduší. Zářivý tok pak přichází na povrch Země ve dvou formách [1]:

- **difúzní sluneční záření** – nemá směrový charakter, značí se indexem „ d “,
- **přímé sluneční záření** – má výrazně směrový charakter, značí se indexem „ b “.

Teoreticky možné přímé ozáření plochy kolmé ke směru paprsků G_{bn} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]:

$$G_{bn} = G_{on} \cdot \exp\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right) \quad (3.2)$$

kde Z je součinitel znečištění atmosféry a ε je činitel závisující na výšce Slunce nad obzorem a nadmořské výšce. Přímé sluneční ozáření dané plochy G_{bT} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]:

$$G_{bT} = G_{bn} \cdot \cos \theta \quad (3.3)$$

kde θ je tzv. úhel dopadu slunečního záření – úhel mezi spojnicí plochy a Slunce a normálou plochy. Přímé ozáření vodorovné roviny [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]:

$$G_b = G_{bn} \cdot \sin h \quad (3.4)$$

kde h je výška Slunce nad obzorem – úhel sevřený spojnicí plochy a Slunce s vodorovnou rovinou. Difúzní sluneční ozáření vodorovné roviny [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]:

$$G_d = 0,33 \cdot (G_{on} - G_{bn}) \cdot \sin h \quad (3.5)$$

Difúzní sluneční ozáření dané plochy G_{dT} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]:

$$G_{dT} = \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) \cdot G_d + \rho_g \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) \cdot (G_d + G_b) \quad (3.6)$$

kde G_d je difúzní sluneční ozáření vodorovné roviny, G_b přímé sluneční ozáření vodorovné roviny, ρ_g odrazivost vodorovné roviny (albedo), zpravidla $\rho_g = 0,2$ [1], β sklon kolektoru. Celkové sluneční ozáření G_T [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] získáme jako součet:

$$G_T = G_{bT} + G_{dT} \quad (3.7)$$

Teoretická denní dávka celkového slunečního ozáření $H_{T,den,teor}$ [$\text{kWh} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{den})^{-1}$]:

$$H_{T,den,teor} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} G_T \cdot d\tau \quad (3.8)$$

kde integrace od τ_1 do τ_2 je doba od východu do západu Slunce – teoretická doba slunečního svitu τ_{teor} . Teoretická dávka difúzního ozáření $H_{T,den,dif}$ [$\text{kWh} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{den})^{-1}$]:

$$H_{T,den,dif} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} G_{dT} \cdot d\tau \quad (3.9)$$

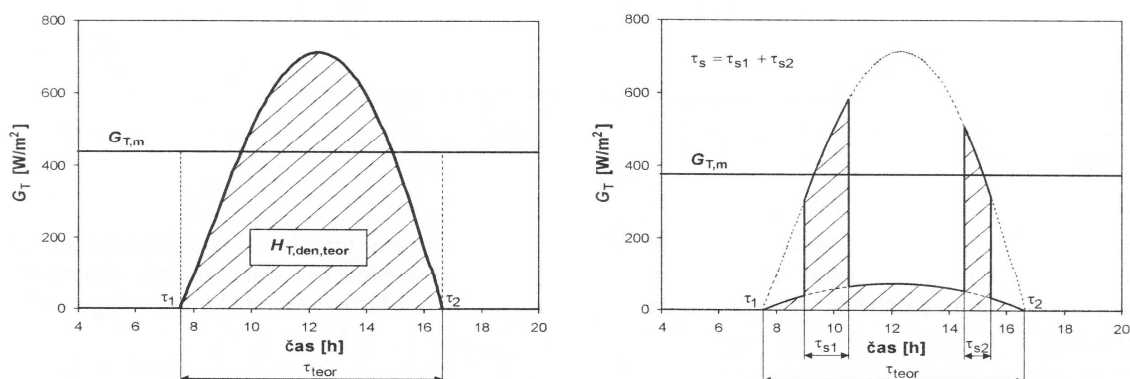
kde integrace od τ_1 do τ_2 je τ_{teor} , a G_{dT} je difúzní sluneční ozáření dané plochy. Střední denní hodnota slunečního ozáření $G_{T,m}$ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]:

$$G_{T,m} = \frac{1}{\tau_{teor}} \int_{\tau_1}^{\tau_2} G_T \cdot d\tau = \frac{H_{T,den,teor}}{\tau_{teor}} \quad (3.10)$$

Pro reálné dny s oblačností zjišťujeme pomocí τ_{teor} poměrnou dobu slunečního svitu τ_r :

$$\tau_r = \frac{\tau_{skut}}{\tau_{teor}} \quad (3.11)$$

kde τ_{skut} je skutečná doba slunečního svitu – hodnoty měří ČHMÚ.



Obr. 3.1 – Průběh slunečního ozáření za jasné a částečně zatažené oblohy [1]

Skutečná denní dávka slunečního ozáření $H_{T,den}$ [$\text{kWh} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{den})^{-1}$]:

$$H_{T,den} = \tau_r H_{T,den,teor} + (1 - \tau_r) \cdot H_{T,den,dif} \quad (3.12)$$

3.1 Solární tepelné kolektory [1]

Solární kolektory jsou zařízení, která slouží k přeměně energie slunečního záření na energii tepelnou. Pracovním prvkem kolektoru je absorbér, plocha, ohřívající se působením slunečního záření. Teplo je předáváno teplotonosné látce, protékající kolektorem. Může jí být voda, nemrzoucí směs nebo vzduch. Nejčastěji využívané jsou solární kapalinové kolektory. Podle konstrukce lze tato zařízení rozdělit [1]:

- **plochý nekrytý kolektor** – materiál plast, využíván často v letním období pro přímý ohřev vody v bazénech, relativně levný,
- **plochý neselektivní kolektor** – deskový kolektor, kovový absorbér opatřen neselektivním povrchem (černý nátěr), zaskleno, pro sezónní přehřev TV,
- **plochý selektivní kolektor** – deskový kolektor, kovový absorbér opatřen spektrálně selektivním povrchem, zaskleno, pro celoroční ohřev TV a vytápění,
- **plochý vakuový kolektor** – deskový kolektor, kovový absorbér se spektrálně selektivním povrchem, tlak v kolektoru nižší než atmosférický (1 až 10 kPa_{abs}) z důvodu snížení tepelných ztrát, pro celoroční ohřev TV a vytápění,
- **trubkový vakuový kolektor** – plochý či válcový selektivní absorbér umístěn ve vakuované skleněné trubici, 2 varianty: přímo protékající trubka absorbérů nebo tepelná trubice, soustavy pro přípravu TV a vytápění, nebo průmyslové aplikace.

Využitelný výkon solárního kolektoru [1]:

$$\dot{Q}_k = G \cdot A_k \cdot \tau \cdot \alpha - U \cdot A_k \cdot (t_{abs} - t_e) \quad (3.1.1)$$

kde G je sluneční ozáření kolektoru, A_k vztažná plocha kolektoru (plocha apertury, absorbérů či obrysová plocha), τ propustnost slunečního záření zasklením kolektoru, α pohltivost slunečního záření absorbérů, U součinitel prostupu tepla kolektoru, t_{abs} střední teplota povrchu absorbérů, t_e teplota okolního vzduchu.

Účinnost kolektoru [11]:

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot A - a_2 \cdot I \cdot A^2 = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_s - t_a}{I} - a_2 \cdot \frac{(t_s - t_a)^2}{I} \quad (3.1.2)$$

kde η_0 je optická účinnost kolektoru, a_1 a a_2 koeficienty vyjadřující tepelné ztráty kolektoru (od výrobce), A redukovaná teplota kolektoru, t_s střední teplota absorbéru (aritmetický průměr vstupní a výstupní teploty média), t_a teplota exteriéru (okolního vzduchu).

3.2 Solární tepelné soustavy

Solární tepelné soustavy slouží, většinou spolu s dalším zdrojem energie, k energetickému zásobování budov nebo jiných zařízení. Nejrozšířenějším řešením jsou solární tepelné kapalinové soustavy. Podle účelu použití je můžeme např. rozdělit [1]:

- příprava teplé vody,
- kombinovaná příprava teplé vody a přitápění,
- ohřev bazénové vody,
- solární chlazení a klimatizace, atd.

3.2.1 Solární soustavy pro přípravu teplé vody [1]

Teplo pro přípravu teplé vody v obytných budovách tvoří během roku téměř konstantní množství potřebné energie. Částečné pokrytí tohoto tepla solární energií je společně se zateplováním budov a rekuperací tepla (větrání) významným činitelem při snižování závislosti vyspělé společnosti na fosilních zdrojích energie. Solární soustavy pro přípravu teplé vody jsou vhodné jak pro maloplošné realizace v rodinných domech (většinou do 6 m² kolektorové plochy), tak pro středněplošné a velkoplošné realizace (plocha kolektorů větší než 20 m²) v obytných domech, nemocnicích a dalších budovách se zvýšenou spotřebou teplé vody. Sklon kolektorů do 45°.

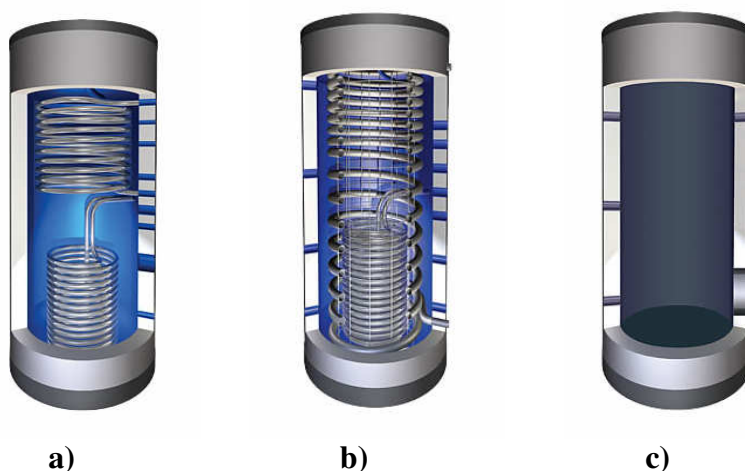
3.2.2 Solární soustavy pro přípravu teplé vody a vytápění [1], [11]

Kombinované soustavy pro přípravu teplé vody a vytápění se instalují převážně do staveb nízkoenergetických či pasivních nebo do starších domů po rekonstrukci, která zahrnovala opatření ke snížení tepelných ztrát. Převažují nízkotepelné otopné soustavy (podlahové vytápění), které dokáží účinně využít nižší teploty, získané solárním ohřevem v přechodných obdobích (jaro, podzim). Při dimenzování těchto solárních soustav je nutné zohlednit využití přebytků tepla v letním období (ohřev bazénové vody, sušárny dřeva, chlazení na adsorpčním principu). Vhodný sklon kolektorů je obvykle vyšší než 45°. Takto lze snížit letní přebytky a zvýšit tepelné zisky v zimním období.

3.3 Solární akumulční zásobníky [1]

Pro solární soustavy je akumulace získané energie nutná především z důvodu nepravidelné dodávky a odběru tepla během dne a během roku. Uchovávání využitých solárních zisků zabezpečují solární akumulční zásobníky. Velmi důležitým prvkem zásobníku tepla je kvalitně provedená tepelná izolace. Hlavními kritérii pro výběr (konstrukci) zásobníku jsou hustota akumulace, velikost, účinnost, cena a životnost. Nejběžnějšími typy zásobníku, využívanými pro solární termické soustavy, jsou vodní zásobníky. Mezi hlavní výhody vody patří dostupnost, cena a vysoká tepelná kapacita. K základním nevýhodám patří omezený teplotní rozsah použití, zpravidla od 0 °C po 100 °C. Vodní zásobníky lze rozdělit podle účelu použití [1]:

- **zásobníky teplé vody (TV)** – zdroj teplé vody, hygienické požadavky na styk s pitnou vodou, mohou mít vlastní přípojku cirkulačního potrubí,
- **zásobníky otopné vody (OV)** – především pro použití v kombinovaných soustavách pro přípravu TV a vytápění, provozovány odděleně od přípravy TV nebo se s přípravou TV kombinují,
- **kombinované zásobníky** – sdružení akumulčního objemu pro otopnou vodu s přípravou teplé vody – průtokový trubkový ohřev nebo vnořený zásobník do zásobníku otopné vody, menší využitelné objemy TV a otopné vody, úspora místa.



Obr. 3.3.1 – a) Bivalentní akumulční zásobník TV, b) Kombinovaný akumulční zásobník OV s průtokovým trubkovým ohřevem TV, c) Akumulční zásobník OV [20]

U solárních zásobníků je pro dobré solární pokrytí potřeby tepla a ekonomiku provozu soustavy nutné vytvořit podmínky pro teplotní rozvrstvení (stratifikaci) objemu vody. Chladnější voda o vyšší hustotě se nachází ve spodní části zásobníku (zde se nejčastěji umísťuje solární výměník) a teplejší voda s nižší hustotou stoupá do horní části, odkud je odváděna ke spotřebě. Pro vytvoření a udržení teplotní stratifikace se používají štíhlé vysoké zásobníky. Požadované výstupní teploty teplé vody se u bivalentních a multivalentních zásobníků dosahuje (při nedostatku solárního svitu) dohřevem přídatným zdrojem energie (plynový kotel, elektrokotel, el. topná spirála) ve střední a horní části zásobníku. Dohřev může být realizován také v menším pohotovostním zásobníku.

4 Návrh solárního akumulčního zásobníku

Solární zásobník budu navrhovat jako trivalentní – ohřev teplé vody třemi zdroji energie – solárním okruhem, okruhem kotlovým (otopná voda) a je možno zapojit dodatečný ohřev pohotovostního množství teplé vody instalovanou elektrickou spirálou ovládanou termostatem s nastavitelnou teplotou – zajištění spolehlivé ochrany proti množení bakterií druhu legionella. Pro spolehlivou eliminaci bakterií daného druhu se doporučuje průběžně ohřívat vodu v pohotovostní (horní) části zásobníku na více než 60 °C [1].

Předpoklady pro návrh solárního akumulčního zásobníku:

- množství vody $V_2 = 200 \text{ l} \cdot \text{den}^{-1}$, které má být v zásobníku ohříváno z 10°C na 55°C za $\tau = 4$ hodiny solárním okruhem a za $\tau = 2$ hodiny okruhem kotlovým,
- znalost výpočtové přívodní a odvodní teploty topných médií – solární okruh $60 / 40^\circ\text{C}$, kotlový okruh $80 / 60^\circ\text{C}$,
- volba vhodného materiálu stěny výměníků – vysoká hodnota součinitele tepelné vodivosti – měď, $\lambda = 293 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ [22],
- rozměr trubky solárního výměníků: $\Phi 30 \times 1,5$,
- rozměr trubky kotlového výměníku: $\Phi 22 \times 1,0$,
- mezní (vnější) rozměry zásobníku s izolací: průměr $D_2 = 800 \text{ mm}$, výška $H_2 = 2100 \text{ mm}$ – z důvodu manipulace a výšek stropů běžných staveb, zároveň musí být zajištěna minimální uvažovaná tloušťka izolace 80 mm ,
- anodová ochrana zásobníku proti korozi, možnost instalace bezúdržbové elektrické anody na cizí proud,
- materiál izolace zásobníku MIRELON[®], maximální teplotní odolnost izolace 95°C .

Teplonosnou kapalinou v solárním okruhu je směs vody a 1,2-propylenglykolu v poměru 50/50 s inhibitory koroze a ochrannou přísadou proti náhodnému požití – **SOLAREN[®]**, výrobce Velvana, a.s., teplonosná kapalina v topném okruhu (otopná voda) není žádným zvláštním způsobem upravována. Vnitřní povrch zásobníku doporučuji opatřit vhodným ochranným nátěrem pro styk s pitnou vodou nebo smaltem (podle možností výrobce).

4.1 Výpočet výměníku solárního okruhu

Určení průtoku teplonosné kapaliny (Solarenu) výměníkem a určení průtoku TV:

Parametry uvažovaného kolektoru REGULUS KPS11 - ALP [32]:

- hrubá obrysová plocha $A_G = 2,49 \text{ m}^2$,
- účinná plocha apertury $a_{al} = 2,26 \text{ m}^2$,
- uvažovaný počet kolektorů $pk = 6$ (pro potřeby návrhu průtoku).

Veličiny s indexem 1 platí pro situaci na straně teplotonosné kapaliny (Solarenu), veličiny s indexem 2 na straně teplé vody (TV). Označení průměrů trubek: d – vnitřní průměr trubky, D – vnější průměr trubky. Indexy rozlišující trubky výměníků: 1 – výměník solárního okruhu, 2 – výměník kotlového okruhu.

Celková plocha apertury kolektorového pole:

$$A_a = A_{a1} \cdot pk = 2,26 \cdot 6 = \underline{\underline{13,56 \text{ m}^2}} \quad (4.1.1)$$

Výpočtový průtok potrubím solárního systému:

$$\dot{m}_1 = \left(\frac{\dot{V}_1}{1000} \cdot \rho_1 \right) \cdot A_a = \left(\frac{25}{1000} \cdot 1027 \right) \cdot 12,78 = \underline{\underline{348,153 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}}} \quad (4.1.2)$$

kde V_1 je návrhový objemový průtok kapaliny kolektorem – proudění High-Flow [23], ρ_1 je hustota teplotonosné kapaliny při 50 °C [24] a A_a je celková plocha apertury kolektorů.

Výpočtový průtok teplé vody:

$$\dot{m}_2 = \frac{\left(\frac{\dot{V}_2}{1000} \cdot \rho_2 \right)}{\tau} = \frac{\left(\frac{200}{1000} \cdot 990,7 \right)}{4} = \underline{\underline{49,533 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}}} \quad (4.1.3)$$

kde V_2 je výpočtový objemový průtok TV, ρ_2 je hustota TV při 32,5 °C [12] a τ je doba ohřevu požadovaného množství TV.

Ukázkový výpočet provedu pro výměník solárního okruhu (spodní). Podružné a doplňující výpočty jsou k dispozici v souboru aplikace MS Excel „Solární zásobník_R1.xls“ na nosiči CD-ROM „DIPLOMOVÁ PRÁCE, Bc. Pavel Richtár, 2011“, přiloženém k této práci. Soubor obsahuje také interpolace, ke zpřesnění použitých výpočtových kritérií.

Postup výpočtu solárního výměníku:

Rozměr trubky solárního výměníku Φ 30 x 1,5 a vstupní / výstupní teplota teplotonosného média (Solaren) 60 / 40 °C.

Teplo, které musí za sekundu předat solární okruh vodě v zásobníku – tepelný výkon:

$$\dot{Q}_{pred} = \dot{m}_2 \cdot c_{p2} \cdot (tt_2'' - tt_2') = \frac{49,533}{3600} \cdot 4,176 \cdot (55 - 10) = \underline{\underline{2,586 \text{ kW}}} \quad (4.1.4)$$

Střední logaritmický teplotní spád výměníku:

$$t_{ln} = \frac{(tt_1' - tt_2'') - (tt_1'' - tt_2')}{\ln \frac{(tt_1' - tt_2'')}{(tt_1'' - tt_2')}} = \frac{(60 - 55) - (40 - 10)}{\ln \frac{(60 - 55)}{(40 - 10)}} = \underline{\underline{13,95 \text{ } ^\circ\text{C}}} \quad (4.1.5)$$

Střední teplota stěny trubky výměníku:

$$t_{st} = \frac{tt_1 + tt_2}{2} = \frac{50 + 32,5}{2} = \underline{\underline{41,25 \text{ } ^\circ\text{C}}} \quad (4.1.6)$$

Pozn. Teploty Solarenu a TV jsou aritmetické průměry vstupních a výstupních teplot.

Prandtlovo kritérium stěny pro prvotní výpočet:

$$Pr_s = \frac{Pr_1 + Pr_2}{2} = \frac{23,248 + 4,214}{2} = \underline{\underline{13,731}} \quad (4.1.7)$$

kde Pr_1 je Prandtlovo kritérium pro Solaren o teplotě 50 °C [13], Pr_2 je Prandtlovo kritérium pro vodu o teplotě 32,5 °C [12].

Výpočtová rychlost proudění média ve výměníku:

$$w_1 = \frac{\frac{\dot{m}_1}{3600}}{\frac{(\pi \cdot d_1^2)}{4} \cdot \rho_1} = \frac{\frac{348,153}{3600}}{\frac{(\pi \cdot 0,027^2)}{4} \cdot 1027} = \underline{\underline{0,164 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}} \quad (4.1.8)$$

kde d_1 je vnitřní průměr trubky solárního výměníku.

Reynoldsovo kritérium pro Solaren:

$$Re_1 = \frac{w_1 \cdot d_1}{\nu_1} = \frac{0,164 \cdot 0,027}{2,30 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{1930,704}} \quad (4.1.9)$$

kde ν_1 je kinematická viskozita Solarenu při 50 °C [24].

$Re < 2\,300$ - laminární proudění, rychlost proudění TV je uvažována nulová.

Grashofovo kritérium pro Solaren [12]:

$$Gr_1 = \frac{g \cdot d_1^3}{\nu_1^2} \cdot \beta_1 \cdot (t_1 - t_{st}) \quad (4.1.10)$$

$$Gr_1 = \frac{9,81 \cdot 0,027^3}{(2,30 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 2,96 \cdot 10^{-2} \cdot (50 - 41,25) = \underline{\underline{9\,440\,980,716}}$$

kde g je gravitační zrychlení, β_1 součinitel objemové teplotní roztažnosti Solarenu [16].

Rayleighovo kritérium pro TV [12]:

$$Ra_2 = \frac{g \cdot d_2^3}{\nu_2^2} \cdot \beta_2 \cdot (t_{st} - t_2) \cdot Pr_2 \quad (4.1.11)$$

$$Ra_2 = \frac{9,81 \cdot 0,03^3}{(7,69 \cdot 10^{-7})^2} \cdot 3,38 \cdot 10^{-4} \cdot (41,25 - 32,5) \cdot 5,143 = \underline{\underline{68\,108\,47,535}}$$

kde ν_2 je kinematická viskozita pro vodu o teplotě 32,5 °C [12], β_2 součinitel objemové teplotní roztažnosti vody [12], Pr_2 je Prandtlovo číslo pro vodu o teplotě 32,5 °C [12].

Kritické hodnoty Reynoldsových kritérií [9]:

$$Re'_{kr} = \frac{16,4}{\sqrt{\frac{d_1}{R}}} = \frac{16,4}{\sqrt{\frac{0,027}{0,2}}} = \underline{\underline{44,635}} \quad (4.1.12)$$

$$Re''_{kr} = 18\,500 \cdot \left(\frac{d_1}{2 \cdot R}\right)^{0,28} = 18\,500 \cdot \left(\frac{0,027}{2 \cdot 0,2}\right)^{0,28} = \underline{\underline{8\,697,146}} \quad (4.1.13)$$

kde d_1 je vnitřní průměr trubky výměníku, R je poloměr vinutí výměníku.

Nusseltovo kritérium pro Solaren [12]:

$$Nu_1 = 0,17 \cdot Re_1^{0,33} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot Gr_1^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_1}{Pr_s}\right)^{0,25} \cdot \varepsilon_l \cdot \varepsilon_R \quad (4.1.14)$$

$$Nu_1 = 0,17 \cdot 1930,704^{0,33} \cdot 17,56^{0,43} \cdot 9\,440\,980,716^{0,1} \cdot \left(\frac{17,56}{13,731}\right)^{0,25} \cdot 1 \cdot 1 = \underline{\underline{37,505}}$$

kde ε_l je opravný součinitel pro délku trubky:

$$l/d_{ekv} < 50 \dots\dots\dots \varepsilon_l = \underline{1},$$

- ε_R je opravný součinitel pro proudění v kolenech a hadech:

$$Re_{kr}' < Re < Re_{kr}'' \dots\dots\dots \varepsilon_R = 1$$

$$44,635 < 1\,930,704 < 8\,697,146 \dots\dots\dots \varepsilon_R = \underline{1}.$$

Nusseltovo kritérium pro přirozenou konvekci na straně TV [6]:

$$Nu_2 = 0,54 \cdot Ra_2^{0,25} = 0,54 \cdot 6810847,535^{0,25} = \underline{\underline{27,586}} \quad (4.1.15)$$

Součinitel přestupu tepla na straně Solarenu:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_1} = \frac{37,505 \cdot 3,83 \cdot 10^{-1}}{0,027} = \underline{\underline{531,573 \, W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}} \quad (4.1.16)$$

kde λ_1 je součinitel tepelné vodivosti Solarenu pro teplotu 50 °C [16].

Součinitel přestupu tepla na straně TV:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{D_1} = \frac{27,586 \cdot 6,21 \cdot 10^{-1}}{0,030} = \underline{\underline{571,083 \, W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}} \quad (4.1.17)$$

kde λ_2 je součinitel tepelné vodivosti vody pro teplotu 32,5 °C [12].

Součinitel prostupu tepla:

$$k_l = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{Cu}} \cdot \ln \frac{D_1}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot D_1}} \quad (4.1.18)$$

$$k_l = \frac{\pi}{\frac{1}{531,573 \cdot 0,027} + \frac{1}{2 \cdot 293} \cdot \ln \frac{0,030}{0,027} + \frac{1}{571,083 \cdot 0,030}} = \underline{\underline{24,501 \, W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}}$$

kde λ_{Cu} je součinitel tepelné vodivosti mědi [22].

Tepelný tok 1 m trubky výměníku:

$$q_l = \frac{k_l \cdot (t_{t1} - t_{t2})}{1000} = \frac{24,501 \cdot (50 - 32,5)}{1000} = \underline{\underline{0,429 \, kW \cdot m^{-1}}} \quad (4.1.19)$$

Teplota stěny na straně Solarenu:

$$t_{st-1} = tt_1 - \frac{q_l}{\pi} \cdot \frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} \quad (4.1.20)$$

$$t_{st-1} = 50 - \left(\frac{0,429 \cdot 1000}{\pi} \cdot \frac{1}{531,573 \cdot 0,027} \right) = \underline{\underline{40,491 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

Teplota stěny na straně TV:

$$t_{st-2} = tt_2 + \frac{q_l}{\pi} \cdot \frac{1}{\alpha_2 \cdot D_1} \quad (4.1.21)$$

$$t_{st-2} = 32,5 + \left(\frac{0,429 \cdot 1000}{\pi} \cdot \frac{1}{571,083 \cdot 0,030} \right) = \underline{\underline{40,466 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

Pro zpřesnění výsledků provedu – počínaje rovnicí (5.1.10) – opakovaný výpočet.

Pro vypočtené teploty stěny určím zpřesněné hodnoty Prandtlových kritérií:

pro $t_{st-1} = 40,491 \text{ } ^\circ\text{C}$ $Pr_{s1} = 23,741$ [13],

pro $t_{st-2} = 40,466 \text{ } ^\circ\text{C}$ $Pr_{s2} = 4,274$ [12].

Grashofovo kritérium pro Solaren [12]:

$$Gr_1 = \frac{g \cdot d_1^3}{\nu_1^2} \cdot \beta_1 \cdot (tt_1 - t_{st-1}) \quad (4.1.22)$$

$$Gr_1 = \frac{9,81 \cdot 0,027^3}{(2,30 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 2,96 \cdot 10^{-2} \cdot (50 - 40,491) = \underline{\underline{10\,260\,182,633}}$$

Rayleighovo kritérium pro TV [12]:

$$Ra_2 = \frac{g \cdot d_2^3}{\nu_2^2} \cdot \beta_2 \cdot (t_{st-1} - tt_2) \cdot Pr_2 \quad (4.1.23)$$

$$Ra_2 = \frac{9,81 \cdot 0,03^3}{(7,69 \cdot 10^{-7})^2} \cdot 3,38 \cdot 10^{-4} \cdot (40,466 - 32,5) \cdot 5,143 = \underline{\underline{6\,200\,763,949}}$$

Nusseltovo kritérium pro Solaren [12]:

$$Nu_1 = 0,17 \cdot Re_1^{0,33} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot Gr_1^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_1}{Pr_{s1}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_l \cdot \varepsilon_R \quad (4.1.24)$$

$$Nu_1 = 0,17 \cdot 1930,704^{0,33} \cdot 17,56^{0,43} \cdot 10260182,633^{0,1} \cdot \left(\frac{17,56}{23,741} \right)^{0,25} \cdot 1 \cdot 1 = \underline{\underline{32,980}}$$

Nusseltovo kritérium pro TV [6]:

$$Nu_2 = 0,54 \cdot Ra_2^{0,25} = 0,54 \cdot 6200763,949^{0,25} = \underline{\underline{26,947}} \quad (4.1.25)$$

Součinitel přestupu tepla na straně Solarenu:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_1} = \frac{32,980 \cdot 3,83 \cdot 10^{-1}}{0,027} = \underline{\underline{467,439 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}}} \quad (4.1.26)$$

Součinitel přestupu tepla na straně TV:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{D_1} = \frac{26,947 \cdot 6,21 \cdot 10^{-1}}{0,030} = \underline{\underline{557,841 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}}} \quad (4.1.27)$$

Součinitel prostupu tepla:

$$k_l = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{Cu}} \cdot \ln \frac{D_1}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot D_1}} \quad (4.1.28)$$

$$k_l = \frac{\pi}{\frac{1}{467,439 \cdot 0,027} + \frac{1}{2 \cdot 293} \cdot \ln \frac{0,030}{0,027} + \frac{1}{557,841 \cdot 0,030}} = \underline{\underline{22,574 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}}$$

Tepelný tok 1 m trubky výměníku:

$$q_l = \frac{k_l \cdot (tt_1 - tt_2)}{1000} = \frac{22,574 \cdot (50 - 32,5)}{1000} = \underline{\underline{0,395 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1}}} \quad (4.1.29)$$

Teplota stěny na straně Solarenu:

$$t_{st-1} = tt_1 - \frac{q_l}{\pi} \cdot \frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} \quad (4.1.30)$$

$$t_{st-1} = 50 - \left(\frac{0,395 \cdot 1000}{\pi} \cdot \frac{1}{467,439 \cdot 0,027} \right) = \underline{\underline{40,037 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

Teplota stěny na straně TV:

$$t_{st-2} = t_{t_2} + \frac{q_l}{\pi} \cdot \frac{1}{\alpha_2 \cdot D_1} \quad (4.1.31)$$

$$t_{st-2} = 32,5 + \left(\frac{0,395 \cdot 1000}{\pi} \cdot \frac{1}{557,841 \cdot 0,030} \right) = \underline{\underline{40,014 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

Pro zpřesnění provedu opakovaný výpočet – počínaje vztahem (4.1.22) – ještě jednou.

Hodnota součinitele prostupu tepla po opakovaném zpřesňujícím výpočtu:

$$k_l = \underline{\underline{22,452 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}} \quad (4.1.32)$$

Po tomto kroku mohu zjistit požadované výpočtové parametry výměníku.

Délka výměníku solárního okruhu:

$$l = \frac{\dot{Q}_{pred} \cdot 1000}{k_l \cdot t_{ln}} = \frac{2,586 \cdot 1000}{22,452 \cdot 13,95} = \underline{\underline{8,254 \text{ m}}} \quad (4.1.33)$$

Plocha výměníku solárního okruhu:

$$S = \pi \cdot D_1 \cdot l = \pi \cdot 0,030 \cdot 8,254 = \underline{\underline{0,778 \text{ m}^2}} \quad (4.1.34)$$

Zadané parametry teplot pro solární okruh lze považovat za ideální. Pro snížené teploty média (Solarenu) volím koeficient bezpečnosti délky výměníku $k_B = 1,75$.

Délka výměníku solárního okruhu zvětšená koeficientem bezpečnosti:

$$l_1 = \frac{\dot{Q}_{pred} \cdot 1000}{k_l \cdot t_{ln}} \cdot k_B = \frac{2,586 \cdot 1000}{22,452 \cdot 13,95} \cdot 1,75 = \underline{\underline{14,444 \text{ m}}} \quad (4.1.35)$$

Plocha výměníku solárního okruhu po zvětšení délky koeficientem bezpečnosti:

$$S_1 = \pi \cdot D_1 \cdot l = \pi \cdot 0,030 \cdot 14,444 = \underline{\underline{1,361 \text{ m}^2}} \quad (4.1.36)$$

Z konstrukčních důvodů volím délku výměníku $l_{SOL} = 14,5 \text{ m}$, skutečná teplosměnná plocha bude $S_{SOL} = 1,367 \text{ m}^2$, vnější objem pak bude $V_{SOL} = 0,010 \text{ m}^3$.

4.2 Výpočet výměníku kotlového okruhu

Postup výpočtu výměníku kotlového okruhu bude stejný, jako u solárního okruhu. Jiný bude rozměr trubky výměníku $\Phi 22 \times 1$ a vstupní / výstupní teplota média (otopné vody) $80 / 60 \text{ }^\circ\text{C}$, výpočtový objemový průtok otopné vody $300 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$, doba ohřevu 200 l vody $\tau = 2$ hodiny. Rozdíl bude také v tom, že v kotlovém výměníku bude docházet k turbulentnímu proudění, tudíž vypadne vztah pro určení Grashofova kritéria. Změní se výpočet kritických hodnot Reynoldsových kritérií a také Nusseltova kritéria na straně otopné vody. Pro názornost uvedu zmíněnou změnu výpočtu.

Reynoldsovo kritérium pro otopnou vodu:

$$Re_1 = \frac{w_1 \cdot d_2}{\nu_1} = \frac{0,265 \cdot 0,020}{4,15 \cdot 10^{-7}} = \underline{\underline{12\,783,530}} \quad (4.2.1)$$

Kritické hodnoty Reynoldsových kritérií [9]:

$$Re'_{kr} = \frac{16,4}{\sqrt{\frac{d_2}{R}}} = \frac{16,4}{\sqrt{\frac{0,020}{0,2}}} = \underline{\underline{51,861}} \quad (4.2.2)$$

$$Re''_{kr} = 18\,500 \cdot \left(\frac{d_2}{2 \cdot R}\right)^{0,28} = 18\,500 \cdot \left(\frac{0,020}{2 \cdot 0,2}\right)^{0,28} = \underline{\underline{7\,996,194}} \quad (4.2.3)$$

kde d_2 je vnitřní průměr trubky výměníku, R je poloměr vinutí výměníku.

Nusseltovo kritérium pro Solaren [12]:

$$Nu_1 = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{st}}\right)^{0,25} \cdot \varepsilon_l \cdot \varepsilon_R \quad (4.2.4)$$

$$Nu_1 = 0,021 \cdot 12\,783,530^{0,8} \cdot 2,55^{0,43} \cdot \left(\frac{2,55}{3,470}\right)^{0,25} \cdot 1 \cdot 1,18 = \underline{\underline{66,189}}$$

kde ε_l je opravný součinitel pro délku trubky:

$$l/d_{kv} < 50 \dots\dots\dots \varepsilon_l = \underline{\underline{1}},$$

ε_R je opravný součinitel pro proudění v kolenech a hadech:

$$Re_{kr}'' < Re \dots\dots\dots \varepsilon_R = 1 + 1,8 \cdot (d_l/R),$$

$$7\,996,194 < 12\,783,530 \dots\dots\dots \varepsilon_R = 1 + 1,8 \cdot (0,020/0,2) = \underline{\underline{1,18}}.$$

Ostatní vztahy použité pro výpočet jsou shodné jako u výpočtu solárního výměníku.

Horní výměník solárního zásobníku počítám dle teplot otopné vody uvedených v předpokladech pro výpočet (80 / 60 °C). Respektuji ale také možnost použití s různými zdroji tepla pro horní výměník – univerzálnost použití daného zásobníku. Z tohoto důvodu volím koeficient bezpečnosti délky výměníku opět (jako u solárního výměníku) $k_B = 1,75$. Potom bude s dostatečnou bezpečností zajištěn požadovaný tepelný výkon.

Délka výměníku kotlového okruhu zvětšená koeficientem bezpečnosti:

$$l_2 = \frac{\dot{Q}_{pred}}{k_l \cdot t_{ln}} \cdot k_B = \frac{5,171 \cdot 1000}{40,445 \cdot 36,07} \cdot 1,75 = \underline{\underline{6,204 \text{ m}}} \quad (4.2.5)$$

Plocha výměníku kotlového okruhu po zvětšení délky koeficientem bezpečnosti:

$$S_2 = \pi \cdot D_1 \cdot l = \pi \cdot 0,022 \cdot 6,204 = \underline{\underline{0,429 \text{ m}^2}} \quad (4.2.6)$$

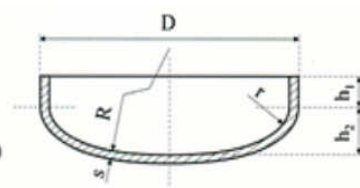
Z konstrukčního hlediska volím délku výměníku $l_{KO} = 6,3 \text{ m}$, skutečná teplosměnná plocha bude $S_{KO} = 0,435 \text{ m}^2$, vnější objem pak bude $V_{KO} = 0,002 \text{ m}^3$.

4.3 Konstrukční návrh nádoby solárního zásobníku

Při volbě rozměrů zásobníku byl rozhodující objem (minimálně 2 denní potřebné množství TV), vnější volené rozměry – výška s izolací $H_2 = 2\,000 \text{ mm}$ (bez podstavy a horního plastového krytu), průměr s izolací $\Phi d_2 = 800 \text{ mm}$ a také nejvyšší dovolený přetlak v zásobníku 1 MPa. Zásobník bude vyroben ze dvou klenutých desek Technokov Ltd. definovaných parametrů a stěny zásobníku, tvořené svařovanou ocelovou trubicou (ČSN 13 1021) – nejvyšší pracovní přetlak 1 MPa, nejvyšší teplota 200 °C.

Hluboče klenutá dna

norma	Rozměry
DIN 28011-93	($R = D$; $r = 0,1D$; $h_1 \geq 3,5s$; $h_2 = 0,1935D - 0,455s$)
Podniková norma	($R = D$; $r = 0,08D$; $h_1 \geq 3s$; $h_2 = 0,181D - 0,42s$)



Obr. 4.3.1 – Konstrukční rozměry klenutého dna [25]

Tab. 4.3.1 – Konstrukční parametry hluboce klenutých den a trubky na konstrukci stěny

Hluboce klenutá dna		Trubka na výrobu stěny zásobníku	
Výrobce	Technokov Ltd.	Vnější Φ D	630 mm
Vnější Φ D	630 mm	Tloušťka stěny t	5 mm
Vnitřní Φ d	620 mm	Materiál	11 373.1
Tloušťka stěny s	5 mm		
Rádus R	630 mm		
Rádus r	50,4 mm		
Výška h_1	25 mm		
Výška h_2	111,930 mm		
Výška h_3 (h_1+h_2)	136,930 mm		
Materiál	11 373.1		

Tab. 4.3.2 – Hodnoty objemů potřebné pro výpočet rozměrů zásobníku

Veličina	Hodnota	Jednotka		
Objem zásobníku V	0,5	m ³		
Objem solárního výměníku V _{SOL}	0,01025	m ³		
Objem kotelního výměníku V _{KO}	0,00239	m ³		Zdroj
Objem anody V _{anoda}	0,00058	m ³	Φ 26 x 1100	Solarpower
Objem jímek pro čidla teploty V _{tep}	0,00011	m ³	Φ 16 x 200	Solarpower
Objem elektrické topné jednotky V _{top}	0,00026	m ³	Φ 37 x 240	Regulus
Objem vnitřních prvků V _{prv} (V _{SOL} + V _{KO} + V _{anoda} + V _{tep} + V _{top})	0,01360	m ³		
Skutečný vnitřní objem V _{skut} (V + V _{prv})	0,514	m ³		

Objem válcové části klenutého dna:

$$V_{valc} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot h_1 = \pi \cdot \left(\frac{0,620}{2}\right)^2 \cdot 0,025 = \underline{\underline{0,008 \text{ m}^3}} \quad (4.3.1)$$

Objem vrchlíku klenutého dna:

$$V_{vrch} = \frac{\pi \cdot h_2^2}{6} \cdot \left(\frac{3 \cdot d}{2}\right)^2 + h_2^2 \quad (4.3.2)$$

$$V_{vrch} = \frac{\pi \cdot 0,1112^2}{6} \cdot \left(\frac{3 \cdot 0,620}{2}\right)^2 + 0,1112^2 = \underline{\underline{0,018 \text{ m}^3}}$$

Celkový objem klenutého dna:

$$V_{dna} = V_{valc} + V_{vrch} = 0,008 + 0,018 = \underline{\underline{0,025 \text{ m}^3}} \quad (4.3.3)$$

Objem trubky (stěna zásobníku):

$$V_{trub} = V_{skut} - (2 \cdot V_{vrch}) - (2 \cdot V_{valc}) \quad (4.3.4)$$

$$V_{trub} = 0,514 - (2 \cdot 0,018) - (2 \cdot 0,008) = \underline{\underline{0,463 \text{ m}^3}}$$

Délka trubky (stěna zásobníku):

$$l_{trub} = \frac{4 \cdot V_{trub}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,463}{\pi \cdot (0,620)^2} \cdot 1000 = \underline{\underline{1534,4 \text{ mm}}} \quad (4.3.5)$$

Celková výška klenutého dna:

$$h = h_3 + s = 136,9 + 5 = \underline{\underline{141,9 \text{ mm}}} \quad (4.3.6)$$

Vnitřní výška zásobníku:

$$h_1 = l + 2 \cdot h_3 = 1534,4 + 2 \cdot 136,9 = \underline{\underline{1808,2 \text{ mm}}} \quad (4.3.7)$$

Vnější výška zásobníku bez izolace:

$$H_1 = l + 2 \cdot h = 1534,4 + 2 \cdot 141,9 = \underline{\underline{1818,2 \text{ mm}}} \quad (4.3.8)$$

Tab. 4.3.3 – Hlavní konstrukční rozměry solárního zásobníku (upraveno, zaokrouhleno)

Rozměr	Označení	Hodnota	Jednotka
Vnitřní průměr	Φd_1	620	mm
Vnější průměr bez izolace	ΦD_1	630	mm
Vnější průměr s izolací	ΦD_2	800	mm
Vnitřní výška	h_1	1808	mm
Vnější výška bez izolace	H_1	1818	mm
Vnější výška s izolací (bez podstavce a krytu)	H_2	2000	mm
Délka trubky (stěna)	l	1534	mm
Výška klenutého dna	h	142	mm
Tloušťka materiálu (stěna, klenuté dno)	t, s	5	mm

4.4 Volba elektrického topného tělesa

Při navrhování výkonu elektrického topného tělesa jsem vycházel z potřeby ohřát požadované množství vody na 55 °C za $\tau = 1$ hod. Pohotovostní množství vody bylo zvoleno $V_2 = 50$ litrů. Tomu odpovídá i umístění el. topného tělesa v horní části zásobníku. Konstrukce zásobníku však nevylučuje i umístění el. topného tělesa do střední části mezi oba výměníky. Pak bude ohříváno větší množství vody za úměrně delší dobu. Topné těleso obsahuje termostat, který udržuje nastavenou teplotu.

Ohřívané množství vody:

$$\dot{m}_2 = V_2 \cdot \rho_{TV} = 0,05 \cdot 990,65 = \underline{\underline{49,533 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}}} \quad (4.4.1)$$

kde V_2 je požadované pohotovostní množství TV, ρ_{TV} je hustota TV při teplotě 55 °C.

Množství tepla, které musí za sekundu elektrické topné těleso předat vodě v zásobníku:

$$\dot{Q}_{pred} = \frac{\dot{m}_2}{3600} \cdot c_{pTV} \cdot (t_{TV} - t_{SV}) = \frac{49,533}{3600} \cdot 4,176 \cdot (55 - 10) = \underline{\underline{2,586 \text{ kW}}} \quad (4.4.2)$$

kde c_{pTV} je měrná tepelná kapacita TV při požadované teplotě, t_{TV} požadovaná teplota TV a t_{SV} je výpočtová teplota SV z vodovodu.

Výkon elektrického topného tělesa:

$$P = \dot{Q}_{pred} = \underline{\underline{2,586 \text{ kW}}} \cong \underline{\underline{3 \text{ kW}}} \quad (4.4.3)$$

Výkon elektrického topného tělesa volím **$P = 3 \text{ kW}$** , topné těleso použité pro zásobník: **REGULUS Φ 37 x 240, výkon 3 kW** [32].

4.5 Časová konstanta a tepelné ztráty zásobníku

Časová konstanta zásobníku udává dobu, za kterou klesne bez odběru akumulovaná energie v nabitém zásobníku ze 100 % na 36,8 % původní hodnoty. Poločas ochlazování je doba, za kterou klesne akumulovaná energie na polovinu.

Hodnoty použité pro výpočet časové konstanty zásobníku:

- měrná tep. kapacita vody	$c_{pTV} = 4\,176 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- hustota vody	$\rho_{TV} = 990,65 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- obsah zásobníku – objem vody	$V = 0,5 \text{ m}^3$
- ochlazovaný povrch zásobníku	$S_z = 6,032 \text{ m}^2$
- součinitel prostupu tepla stěny, kl. den + izolace	$k = 0,623 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

Pozn. Výpočet součinitele prostupu tepla vychází ze vztahu pro válcovou stěnu (4.1.18) a je doplněn o vztah pro prostup tepla rovinnou stěnou pro obě klenutá dna [6]. Daný výraz je interpretačně složitější a jeho grafická podoba je značně náročná na prostor. Z tohoto důvodu uvádím hodnotu výsledku $k = 0,623 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Přesný postup výpočtu viz. „Solární zásobník_R1.xls“ na CD-ROMu „DIPLOMOVÁ PRÁCE, Bc. Pavel Richtár, 2011“, přiloženém k této práci.

Časová konstanta zásobníku:

$$\tau_o = \left(\left(\frac{c_{pTV} \cdot \rho_{TV} \cdot V}{k \cdot S_z} \right) / 3600 \right) / 24 \quad (4.5.1)$$

$$\tau_o = \left(\left(\frac{4176 \cdot 990,65 \cdot 0,5}{0,623 \cdot 6,032} \right) / 3600 \right) / 24 = \underline{\underline{6,4 \text{ dní}}}$$

Poločas ochlazování zásobníku:

$$\tau_{pol} = 0,693 \cdot \tau_o = \underline{\underline{4,4 \text{ dní}}} \quad (4.5.2)$$

Při uvažování výpočtové teploty TV lze očekávat, že ve skutečnosti bude mít časová konstanta nepatrně vyšší hodnotu – výpočtová (nejmenší) tloušťka izolace na klenutých dnech je v nejužším místě – tělesová osa zásobníku. S rostoucí vzdáleností od osy ke stěnám tloušťka izolace narůstá. Nejsou však brány v úvahu tepelné mosty přes nátrubky. Pro dosažení vysoké hodnoty časové konstanty je nutná kvalitně provedená izolace nádoby, přívodních a odvodních potrubí topných médií i potrubí ohřáté TV.

Pro srovnání – **časová konstanta neizolovaného zásobníku je 0,7 dní a poločas ochlazování 0,5 dní.**

Postup výpočtu tepelných ztrát zásobníku vychází z obecně platných rovnic pro výpočet prostupu tepla válcovou stěnou, např. (4.1.15), (4.1.17), (4.1.18) a rovinnou stěnou – viz. [6]. Tepelné ztráty byly počítány pro vnitřní teplotu v celém objemu zásobníku 55 °C (požadovaná teplota TV) a teplotu okolního vzduchu 15 °C. (byla použita výpočtová vnitřní teplota místnosti, ve které bude zásobník v domě umístěn – M 2.7 Komora. Naprostá většina vztahů a postup výpočtu by se z velké části opakoval s kapitolou 4.2. Tepelný tok byl pro přesnost počítán zvlášť pro válcovou část zásobníku (prostup válcovou stěnou) a klenutá dna (prostup rovinnou stěnou). Podrobný výpočet viz. „Solární zásobník_R1.xls“ na CD-ROMu „DIPLOMOVÁ PRÁCE, Bc. Pavel Richtár, 2011“, přiloženém k této práci.

Výpočtová **tepelná ztráta zásobníku je 1,973 kWh·(24h)⁻¹**. Tato hodnota odpovídá moderním solárním zásobníkům dané velikosti, dostupným na trhu. Pro srovnání – **tepelná ztráta neizolovaného zásobníku je 26,147 kWh·(24h)⁻¹**.

5 Návrh solárního systému pro přípravu TV a přitápění

Solární kolektory budou instalovány na střeše rodinného domu v obci Baška v okrese Frýdek-Místek. Azimut střechy (orientace k jihu) je 0° - ideální stav. Sklon střechy je 34°, což není zcela vhodné. Jako optimalizační opatření navrhuji opatřit střechu podpěrnou konstrukcí, která zajistí trvalý sklon kolektorů 60°. Při tomto sklonu zajistím relativně vysokou využitelnost kolektorů i v měsících přechodných období roku (jaro, podzim), kdy již není Slunce tak vysoko nad obzorem jako v létě a zároveň minimalizuji nežádoucí letní tepelné přebytky. Teplonosnou kapalinu v solárním okruhu navrhuji jako směs vody a 1,2-propylenglykolu v poměru 50/50 – **SOLAREN®**, výrobce Velvana, a.s.

Solární kapalina bude svou tepelnou energii v první řadě předávat výměníkem v solárním zásobníku teplé vody, kde se bude ohřívat studená voda z vodovodu na požadovanou teplotu 55 °C. Solární zásobník o objemu 500 l je navržen jako trivalentní – ohřev vody solárním systémem, okruhem otopné vody (plynový kotel, kotel na tuhá paliva) a také umožňuje dohřev pohotovostního množství vody elektrickým termostatickým topným tělesem. Požadované množství TV je 40 l·osobu⁻¹ za den. Systém je navrhován pro 5 osob, celková denní spotřeba teplé vody bude tedy 200 l.

Sekundární funkcí solárního okruhu bude po zajištění ohřevu teplé vody předávání tepla prostřednictvím solárního deskového výměníku okruhu pro podporu vytápění. Tento okruh bude napojen na akumulární zásobník topné vody **HERZ SLP 825** o objemu 800 l. Tento zásobník obsahuje vrstvicí (stratifikační) vestavby, kterými se vrací topná voda z topného okruhu a také umožňují stratifikaci vody ohřáté solárním systémem. Takto ohřátá voda bude v přechodných obdobích roku využita pro podporu vytápění a v budoucnu je uvažováno také s ohřevem bazénu v letních měsících.

Vstupními daty pro výpočet bilance solárního systému jsou údaje získané z databáze Meteororm. Ta udává hodnoty pro tzv. běžný rok (data za určitý časový úsek v minulosti, po který se údaje sledují). Hodnotami jsou ozáření celkovým slunečním zářením na plochu 1 m² dané orientace a daného sklonu. Tato data již respektují skutečnou dobu slunečního svitu (jasno, zataženo) a také součinitel zákalu atmosféry pro danou lokalitu. Další vstupy tvoří průměrné teploty studené vody ve vodovodu v jednotlivých měsících. Místo realizace zařízení je do Meteorormu zadáno pomocí souřadnic GPS. V mém případě použiji nejbližší dostupná data pro lokaci Ostrava – Poruba, která je od místa, kde se nachází řešený rodinný dům (Baška) vzdálena vzdušnou čarou cca 25 km. Tato vzdálenost je v globálním měřítku zanedbatelná. Lokace, ze které využiji zdrojová data, se navíc nachází na severozápad od obce Baška, tudíž bude energetický přínos ve skutečnosti nepatrně vyšší – výpočet na straně bezpečnosti. Takto získané hodnoty energie budou upraveny a energetický zisk dále ponížěn o část, kterou nedokáže kolektor za daných podmínek (výška Slunce nad obzorem a parametry záření) zpracovat – účinnost kolektoru.

5.1 Stanovení potřeby tepla pro přípravu TV

Jako příklad postupu výpočtu tepla, potřebného na přípravu teplé vody, uvedu výpočet pro měsíc **leden**, viz. Příloha D.

Předpoklady pro výpočet:

- | | |
|-------------------------------|--------------------------------------------------|
| - počet osob | $os = 5$ |
| - spotřeba TV na osobu za den | $V_{TV,os} = 40 \text{ l} \cdot \text{den}^{-1}$ |
| - požadovaná teplota TV | $t_{TV} = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ |

- teplota SV	$t_{SV} = 8,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- měrná tepelná kapacita TV	$c_{p,TV} = 4\,186 \text{ J}\cdot(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$
- hustota TV	$\rho_{TV} = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- počet pracovních dní soustavy	$d = 31$
- tepelné ztráty systému	$z = 30 \text{ } \%$

Pozn. Spotřeba teplé vody $V_{TV,os}$ odpovídá hranici mezi tzv. středním a vysokým standardem spotřeby TV [5]. Pro určení tepelných ztrát systému z uvažuji systém s centrálním zásobníkovým ohřevem TV a řízenou cirkulací [5].

Postup výpočtu spotřeby tepla pro přípravu TV:

Celková výpočtová spotřeba teplé vody za den v rodinném domě:

$$\dot{V}_{2p} = \dot{V}_{TV,os} \cdot os \quad (5.1.1)$$

$$\dot{V}_{2p} = 40 \cdot 5 = \underline{\underline{200 \text{ l} \cdot \text{den}^{-1}}}$$

Teoretická potřeba tepla pro přípravu TV:

$$\dot{Q}_{TV_teor} = \frac{\dot{V}_{2p} \cdot \rho_{TV} \cdot c_{p,TV} \cdot (t_{TV} - t_{SV}) \cdot d}{3600} \quad (5.1.2)$$

$$\dot{Q}_{TV_teor} = \frac{0,200 \cdot 1000 \cdot 4186 \cdot (55 - 9,4) \cdot 31}{3600} = \underline{\underline{337,035 \text{ kWh} \cdot \text{mesic}^{-1}}}$$

Potřeba tepla pro přípravu TV včetně ztrát:

$$\dot{Q}_{TV} = \dot{Q}_{TV_teor} \cdot \left(1 + \frac{z}{100}\right) \quad (5.1.3)$$

$$\dot{Q}_{TV} = 337,035 \cdot \left(1 + \frac{30}{100}\right) = \underline{\underline{438,145 \text{ kWh} \cdot \text{mesic}^{-1}}}$$

Celková roční potřeba tepla pro přípravu TV je pak součtem jednotlivých měsíců:

$$\dot{Q}_{TV_rok} = \Sigma \dot{Q}_{TV} = \dot{Q}_{TV_I} + \dot{Q}_{TV_II} + \dots + \dot{Q}_{TV_XII} \quad (5.1.4)$$

$$\dot{Q}_{TV_rok} = 438,145 + 400,546 + \dots + 424,224 = \underline{\underline{4\,794,419 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}}}$$

5.2 Stanovení potřeby tepla pro vytápění rodinného domu

Teplo, potřebné na vytápění, bude určeno tzv. denostupňovou metodou. Jako příklad postupu výpočtu uvedu výpočet pro měsíc **leden**, viz. Příloha E.

Předpoklady pro výpočet:

- jmenovitá (výpočtová) tepelná ztráta objektu	$Q_z = 10\,100\text{ W}$
- počet otopných dnů	$d = 31$
- výpočtová vnitřní teplota v daném měsíci	$t_{iv} = 18,5\text{ °C}$
- střední vnitřní teplota ve vytápěných místnostech	$t_{ip} = 18,9\text{ °C}$
- výpočtová venkovní teplota	$t_{ev} = -15\text{ °C}$
- střední teplota venkovního vzduchu v daném měsíci	$t_{ep} = -1,9\text{ °C}$
- součinitel nesoučasnosti	$\varepsilon_n = 0,75$
- součinitel regulace	$\varepsilon_r = 1,04$
- součinitel útlumu teplot	$\varepsilon_u = 0,84$
- součinitel vlivu otopného systému	$\varepsilon_s = 1$
- součinitel zvýšení teploty	$\varepsilon_t = 1,12$
- přírážka na pokrytí tepelných ztrát systému	$v = 5\text{ %}$

Pozn. Výpočtová vnitřní teplota v daném měsíci t_{iv} je vážený průměr výpočtových vnitřních teplot všech místností v domě (vytápěných i nevytápěných) přes objemy místností. Střední vnitřní teplota ve vytápěných místnostech t_{ip} je vážený průměr výpočtových vnitřních teplot všech vytápěných místností v domě přes objemy místností. Určení součinitelů ε na základě znalosti koncepce topného systému a jeho provozování, viz. [14].

Postup výpočtu spotřeby tepla pro vytápění:

Korekční součinitel:

$$\varepsilon = \varepsilon_n \cdot \varepsilon_r \cdot \varepsilon_u \cdot \varepsilon_s \cdot \varepsilon_t = 0,75 \cdot 1,04 \cdot 0,84 \cdot 1 \cdot 1,12 = \underline{\underline{0,734}} \quad (5.2.1)$$

Počet denostupňů:

$$D = d \cdot (t_{ip} - t_{ep}) = 31 \cdot (18,9 - (-1,9)) = \underline{\underline{643,9 \text{ K} \cdot \text{den}}} \quad (5.2.2)$$

Potřeba tepla pro vytápění:

$$\dot{Q}_{VYT} = \frac{24 \cdot \varepsilon \cdot \dot{Q}_z \cdot D}{t_{iv} - t_{ev}} \cdot \left(1 + \frac{v}{100}\right) \quad (5.2.3)$$

$$\dot{Q}_{VYT} = \frac{24 \cdot 0,734 \cdot 10,1 \cdot 643,9}{18,5 - (-15)} \cdot \left(1 + \frac{5}{100}\right) = \underline{\underline{3589,896 \text{ kWh} \cdot \text{mesic}^{-1}}}$$

Celková roční potřeba tepla pro vytápění je pak součtem jednotlivých měsíců:

$$\dot{Q}_{VYT_rok} = \Sigma \dot{Q}_{VYT} = \dot{Q}_{VYT_I} + \dot{Q}_{VYT_II} + \dots + \dot{Q}_{VYT_XII} \quad (5.2.4)$$

$$\dot{Q}_{VYT_rok} = 3589,896 + 2958,631 + \dots + 3452,139 = \underline{\underline{19\,201,447 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}}}$$

5.3 Energetická bilance solárního systému

Příkladem výpočtu bude řádek **1.1.2001, 12:00 hod. měsíc leden**, viz. Příloha F.

Předpoklady pro výpočet, použití kolektoru Regulus KPS11 - ALP [32]:

- optická účinnost kolektoru (vztažená k ploše apertury) $\eta_0 = 0,788$
- lineární součinitel tepelné ztráty (k ploše apertury) $a_1 = 3,480 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$
- kvadratický součinitel tepelné ztráty (k ploše apertury) $a_2 = 0,005 \text{ W} \cdot \text{K}^{-2} \cdot \text{m}^{-2}$
- střední teplota kolektoru $t_s = 33,7 \text{ }^\circ\text{C}$
- střední teplota okolního vzduchu v daném měsíci $t_a = -1,9 \text{ }^\circ\text{C}$

5.3.1 Množství využitého slunečního záření, doba provozu solárního čerpadla

Redukovaná teplota:

$$A = \frac{t_s - t_a}{H_T} = \frac{33,7 - 1,9}{330} = \underline{\underline{0,078 \text{ K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}}} \quad (5.3.1.1)$$

Účinnost teoretická:

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot A - a_2 \cdot H_T \cdot A^2 \quad (5.3.1.2)$$

$$\eta_k = 0,788 - 3,480 \cdot 0,078 - 0,005 \cdot 330 \cdot 0,078^2 = \underline{0,506} \cong \underline{51 \%}$$

Účinnost reálná:

$$\eta_{real} = \eta_k = \underline{0,506} \cong \underline{51 \%} \quad (5.3.1.3)$$

Pozn. Účinnost reálná odpovídá účinnosti teoretické. Rozdíl by nastal v případě, kdy by účinnost teoretická vyšla menší, než 15 %. Pak se uvažuje, že kolektor nepracuje, nedodává teplo a tudíž bude jeho reálná účinnost 0 %.

Využitý výkon:

$$\dot{P}_k = H_T \cdot \eta_{real} = 330 \cdot 0,506 = \underline{166,925 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}} \quad (5.3.1.4)$$

Využitá energie:

$$\dot{Q}_k = \left(\frac{\dot{P}_k + \dot{P}_{k-1}}{2} \right) \cdot \tau = \left(\frac{166,925 + 215,190}{2} \right) \cdot 1 = \underline{191,058 \text{ Wh} \cdot \text{m}^{-2}} \quad (5.3.1.5)$$

kde τ je doba, po kterou bude daný výkon na plochu působit, $\tau = 1$ hod.

Čerpadlo zapnuto (čerpadlo solárního okruhu):

$$\check{Z} = K D Y \check{Z} \left(\dot{P}_k = 0; 0; 1 \right) \quad (5.3.1.6)$$

$$\check{Z} = K D Y \check{Z} \left(\dot{P}_k = 166,925 \right) = \underline{1}, \quad \text{čerpadlo zapnuto}$$

Podmínka MS Excel: Když bude využitý výkon $P_k = 0 \rightarrow 0$, nebude čerpadlo v provozu = 0, v opačném případě bude čerpadlo v provozu = 1.

Měsíční suma záření na horizontální plochu:

$$GGh_{mes} = \Sigma GGh \quad (5.3.1.7)$$

$$GGh_{mes} = GGh_{1.1.2001_1:00} + GGh_{1.1.2001_2:00} + \dots + GGh_{2.1.2001_0:00} = \underline{24518 \text{ Wh} \cdot \text{m}^{-2}}$$

Měsíční suma globálního záření na plochu daného sklonu:

$$H_{T_mes} = \Sigma H_T \quad (5.3.1.8)$$

$$H_{T_mes} = H_{T_1.1.2001_1:00} + H_{T_1.1.2001_2:00} + \dots + H_{T_2.1.2001_0:00} = \underline{\underline{56373 \text{ Wh} \cdot \text{m}^{-2}}}$$

Měsíční průměr hodnot reálné účinnosti:

$$\bar{\eta}_{real} = \underline{\underline{0,5 \cong 50 \%}} \quad (5.3.1.9)$$

Měsíční suma využití energie

$$\dot{Q}_{k_mes} = \Sigma \dot{Q}_k \quad (5.3.1.10)$$

$$\dot{Q}_{k_mes} = \dot{Q}_{k_1.1.2001_1:00} + \dot{Q}_{k_1.1.2001_2:00} + \dots + \dot{Q}_{k_2.1.2001_0:00} = \underline{\underline{27062 \text{ Wh} \cdot \text{m}^{-2}}}$$

Měsíční suma doby provozu čerpadla solárního okruhu:

$$\check{Z}_{mes} = \Sigma \check{Z} \quad (5.3.1.11)$$

$$\check{Z}_{mes} = \check{Z}_{1.1.2001_1:00} + \check{Z}_{1.1.2001_2:00} + \dots + \check{Z}_{2.1.2001_0:00} = \underline{\underline{98 \text{ hod}}}$$

5.3.2 Stanovení tepelné bilance solárního systému

Příkladem výpočtu bude sloupec pro měsíc **duben**, viz. Příloha G.

Pozn. Je uvažována situace, kdy se teplotné médium odevzdáním svého tepla v zásobníku vychladí na teplotu, která je ve spodní části zásobníku a odpovídá teplotě studené vody z vodovodního řadu $t_I = t_{SV} = 9,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Plocha apertury solárních kolektorů potřebná pro přípravu TV:

$$A_{a_TV} = \frac{\dot{Q}_{TV_mes}}{\dot{Q}_{k_mes}} = \frac{413,186}{45,161} = \underline{\underline{9,15 \text{ m}^2}} \quad (5.3.2.1)$$

Plocha apertury kolektorů potřebná pro přípravu TV a vytápění:

$$A_{a_TV+VYT_IV} = \frac{\dot{Q}_{TV_mes} + \dot{Q}_{VYT_mes}}{\dot{Q}_{k_mes}} = \frac{413,186 + 1550,201}{45,161} = \underline{\underline{43,48 \text{ m}^2}} \quad (5.3.2.2)$$

Výpočtová plocha apertury kolektorů potřebná pro přípravu TV a vytápění:

$$A_{teor} = \frac{A_{a-TV+VYT-V} + A_{a-TV+VYT-IX}}{2} = \frac{7,5 + 30}{2} = \underline{\underline{18,87 \text{ m}^2}} \quad (5.3.2.3)$$

Pozn. Vypočteno jako průměr pokrytí potřeby tepla pro přípravu TV a vytápění v okrajových měsících přechodového období – měsíce květen a září [5].

Využitelný prostor střechy je omezen, viz. Příloha J: RIC150-RD_05, proto volím **6 kolektorů REGULUS KPS11 - ALP**. Skutečná plocha apertury bude $A_a = 13,56 \text{ m}^2$.

Maximální tepelný zisk solárního systému:

$$\dot{Q}_{\max} = A_a \cdot \dot{Q}_{k_mes} = 13,56 \cdot 45,161 = \underline{\underline{612,386 \text{ kWh} \cdot mesic^{-1}}} \quad (5.3.2.4)$$

Výstupní teplota média z kolektoru:

$$t_2 = \frac{\dot{Q}_{\max} \cdot 3,6}{c_{p,TV} \cdot \dot{V}_{2p} \cdot d} + t_1 = \left(\frac{612,386 \cdot 3,6}{4,186 \cdot 200 \cdot 30} \right) \cdot 1000 + 9,4 = \underline{\underline{97,2 \text{ °C}}} \quad (5.3.2.5)$$

Pozn. Zpřesněná iterovaná výstupní teplota média z kolektoru, Q_{\max} je maximální tepelný zisk.

Střední teplota kolektoru:

$$t_s = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{9,4 + 97,2}{2} = \underline{\underline{53,3 \text{ °C}}} \quad (5.3.2.6)$$

Tepelná bilance přípravy TV (přebytky / nedostatky):

$$Balance_{TV} = \dot{Q}_{\max} - \dot{Q}_{TV_mes} \quad (5.3.2.7)$$

$$Balance_{TV} = 612,386 - 413,186 = \underline{\underline{199,201 \text{ kWh} \cdot mesic^{-1}}}$$

Tepelná bilance přípravy TV + vytápění (přebytky / nedostatky):

$$Balance_{TV+VYT} = \dot{Q}_{\max} - (\dot{Q}_{TV_mes} + \dot{Q}_{VYT_mes}) \quad (5.3.2.8)$$

$$Balance_{TV+VYT} = 612,386 - (413,186 + 1550,201) = \underline{\underline{-1351 \text{ kWh} \cdot mesic^{-1}}}$$

Zisk solárního systému pro přípravu TV (bez přebytků):

$$Zisk_{TV} = \dot{Q}_{TV_mes} = \underline{\underline{413,186 \text{ kWh} \cdot mesic^{-1}}} \quad (5.3.2.9)$$

Zisk solárního systému pro přípravu TV + využití přebytků přechodných období:

$$Zisk_{TV+prebytky} = \dot{Q}_{max} = \underline{\underline{612,386 \text{ kWh} \cdot mesic^{-1}}} \quad (5.3.2.10)$$

Dosažitelná teplota TV (bez využití přebytků pro ohřev TV):

$$t_{TV} = \frac{Zisk_{TV} \cdot 3,6}{c_{p_TV} \cdot \dot{V}_{TV,d} \cdot d} + t_1 = \left(\frac{612,386 \cdot 3,6}{4,186 \cdot 200 \cdot 30} \right) \cdot 1000 + 9,4 = \underline{\underline{68,7 \text{ } ^\circ\text{C}}} \quad (5.3.2.11)$$

Teoretická teplota TV (při využití přebytků pro ohřev TV):

$$t_{TV,teor} = t_2 = \frac{\dot{Q}_{max} \cdot 3,6}{c_{p_TV} \cdot \dot{V}_{TV,d} \cdot d} + t_1 \quad (5.3.2.12)$$

$$t_{TV,teor} = \left(\frac{612,386 \cdot 3,6}{4,186 \cdot 200 \cdot 30} \right) \cdot 1000 + 9,4 = \underline{\underline{97,2 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

Pozn. Teoretická teplota $t_{TV,teor}$ při tomto postupu odpovídá teplotě t_2 .

Pokrytí přípravy TV solárním systémem:

$$f_{TV} = \left(\frac{Zisk_{TV}}{\dot{Q}_{TV_mes}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{413,186}{413,186} \right) \cdot 100 = \underline{\underline{100 \%}} \quad (5.3.2.13)$$

Využití získatelné solární energie pro přípravu TV (přebytky nevyužity):

$$f_{sol} = \left(\frac{Zisk_{TV}}{\dot{Q}_{max}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{413,186}{612,386} \right) \cdot 100 = \underline{\underline{67,5 \%}} \quad (5.3.2.14)$$

Pozn. Udává, kolik procent získatelné (využitelné) solární energie je použito pro TV.

Měrný zisk maximální vztažený na 1 m² plochy apertury:

$$\dot{Q}_{m,max} = \frac{\dot{Q}_{max}}{A_a} = \frac{612,386}{13,56} = \underline{\underline{45,161 \text{ kWh} \cdot m^{-2}}} \quad (5.3.2.15)$$

Měrný zisk pro přípravu TV vztažený na 1 m² plochy apertury:

$$\dot{Q}_{m,TV} = \frac{Zisk_{TV}}{A_a} = \frac{413,186}{13,56} = \underline{\underline{30,471 kWh \cdot m^{-2}}} \quad (5.3.2.16)$$

Doba provozu čerpadla solárního okruhu (přebytky nevyužity):

$$\tau_{1_TV} = \check{C}Z_{mes} \cdot \left(\frac{f_{sol}}{100} \right) = 176 \cdot \frac{67,5}{100} = \underline{\underline{118,7 hod}} \quad (5.3.2.17)$$

Doba provozu čerpadla solárního okruhu (využity přebytky přechodných období):

$$\tau_{1_TV+prebytky} = \check{C}Z_{mes} = \underline{\underline{176 hod}} \quad (5.3.2.18)$$

Maximální teoretická doba provozu čerpadla sol. okruhu (využity veškeré přebytky):

$$\tau_{1_TV+max_prebytky} = \check{C}Z_{mes} = \underline{\underline{176 hod}} \quad (5.3.2.19)$$

Doba provozu čerpadla pro podporu vytápění (využity přebytky přechodných období):

$$\tau_{2_prebytky} = KDYZ \left(Zisk_{TV} = Zisk_{TV+prebytky} ; 0 ; (\tau_{1_TV+prebytky} - \tau_{1_TV}) \right) \quad (5.3.2.20)$$

$$\tau_{2_prebytky} = 176 - 118,7 = \underline{\underline{57,3 hod}}$$

Podmínka: Když bude $Zisk_{TV} = Zisk_{TV+prebytky} \rightarrow 0$, nebude čerpadlo v provozu = 0 hod, v opačném případě bude v provozu $(\tau_{1_TV+prebytky} - \tau_{1_TV})$ hod.

Maximální doba provozu čerpadla pro podporu vytápění:

$$\tau_{2_max_prebytky} = KDYZ \left(Q_{max} = Zisk_{TV} ; 0 ; (\tau_{1_TV+max_prebytky} - \tau_{1_TV}) \right) \quad (5.3.2.21)$$

$$\tau_{2_max_prebytky} = 176 - 118,7 = \underline{\underline{57,3 hod}}$$

Podmínka: Když bude $Q_{max} = Zisk_{TV} \rightarrow 0$, nebude čerpadlo v provozu = 0 hod, v opačném případě bude v provozu $(\tau_{1_TV+max_prebytky} - \tau_{1_TV})$ hod.

Doba provozu čerpadla topného okruhu (využity přebytky přechodných období):

$$\tau_{3_prebytky} = KDYZ \left(Zisk_{TV} = Zisk_{TV+prebytky} ; 0 ; \tau_{2_prebytky} \right) \quad (5.3.2.22)$$

$$\tau_{3_prebytky} = \tau_{2_prebytky} = \underline{\underline{57,3 hod}}$$

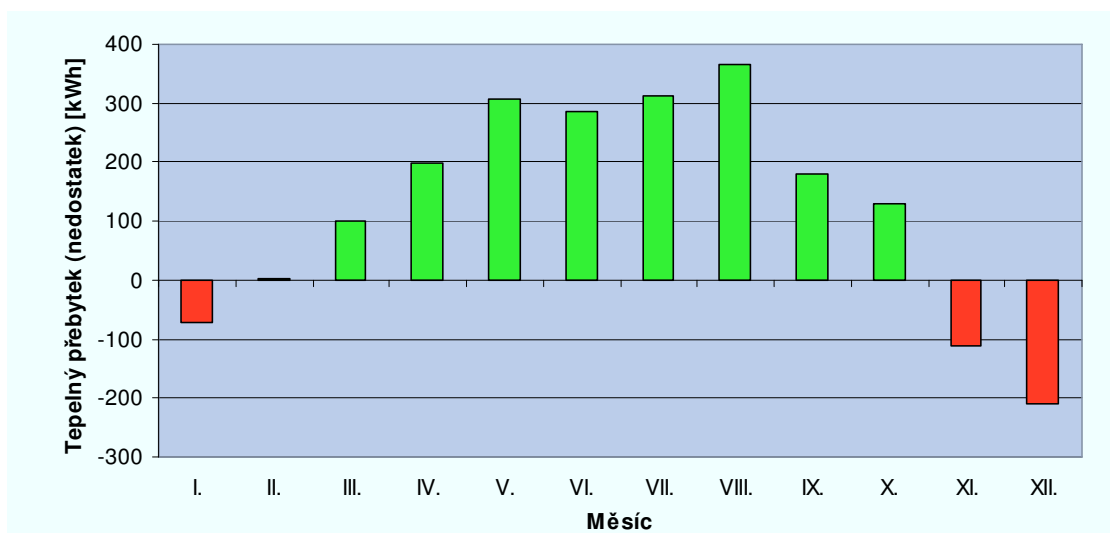
Podmínka: Když bude $Zisk_{TV} = Zisk_{TV+prebytky} \rightarrow 0$, nebude čerpadlo v provozu = 0 hod,
v opačném případě bude v provozu $\tau_{2_prebytky}$ hod.

Maximální doba provozu čerpadla topného okruhu (veškeré přebytky využity):

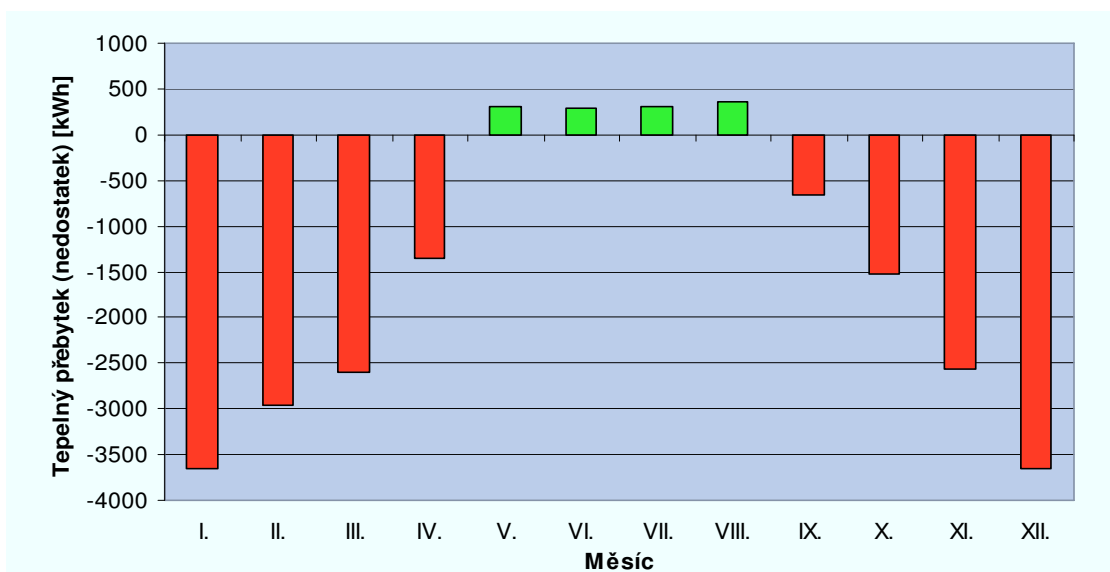
$$\tau_{3_max_prebytky} = K D Y \check{Z} (Q_{max} = Zisk_{TV} ; 0 ; \tau_{2_max_prebytky}) \quad (5.3.2.23)$$

$$\tau_{3_max_prebytky} = \tau_{2_max_prebytky} = \underline{\underline{57,3 \text{ hod}}}$$

Podmínka: Když bude $Q_{max} = Zisk_{TV} \rightarrow 0$, nebude čerpadlo v provozu = 0 hod,
v opačném případě bude v provozu $\tau_{2_max_prebytky}$ hod.



Obr. 5.3.2.1 – Tepelná bilance solárního systému – příprava TV



Obr. 5.3.2.2 – Tepelná bilance solárního systému – příprava TV + vytápění

5.4 Návrh solárního okruhu

Předpoklady pro návrh solárního okruhu:

- | | |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| - vnitřní průměr potrubí | $d_1 = 0,020 \text{ m}$ [32] |
| - vnější průměr potrubí | $d_2 = 0,022 \text{ m}$ |
| - kinematická viskozita teplotnosné kapaliny při 20 °C | $\nu_l = 6,260 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ |
| - hustota teplotnosné kapaliny při 20 °C | $\rho_l = 1\,047 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ |
| - délka přímých částí potrubí | $l_l = 27,716 \text{ m}$ |

Celková plocha apertury kolektorového pole:

$$A_a = A_{a1} \cdot pk = 2,26 \cdot 6 = \underline{\underline{13,56 \text{ m}^2}} \quad (5.4.1)$$

Výpočtový průtok potrubím solárního systému:

$$\dot{m}_1 = \left(\frac{\dot{V}_1}{1000} \cdot \rho_1 \right) \cdot A_a = \left(\frac{25}{1000} \cdot 1027 \right) \cdot 12,78 = \underline{\underline{348,153 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}}} \quad (5.4.2)$$

kde V_l je návrhový objemový průtok kapaliny kolektorem - proudění High-Flow [23], ρ_l je hustota teplotnosné kapaliny při 50 °C [24] a A_a je celková plocha apertury kolektorů.

Pozn. Hustota teplotnosné kapaliny – Solarenu ρ_l , použitá pro výpočet hmotnostního průtoku je při 50 °C, což je střední teplota Solarenu při návrhu solárního zásobníku (kapitola 4). Je to proto, aby hodnota výpočtového průtoku byla stejná jak pro potrubí solárního okruhu, tak pro výměník zásobníku (kapitola 4.1). V dalších výpočtech použiji hustotu Solarenu ρ_l při 20 °C z předpokladů pro výpočet.

Rychlost proudění teplotnosné kapaliny:

$$w_1 = \frac{\frac{\dot{m}_1}{3600}}{\frac{(\pi \cdot d_1^2)}{4} \cdot \rho_l} = \frac{\frac{348,153}{3600}}{\frac{(\pi \cdot 0,020^2)}{4} \cdot 1047} = \underline{\underline{0,294 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}} \quad (5.4.3)$$

kde d_l je vnitřní průměr potrubí, ρ_l je hustota Solarenu při 20 °C – teplota kapaliny, pro kterou budou počítány tlakové ztráty.

Reynoldsovo číslo:

$$Re_1 = \frac{w_1 \cdot d_1}{\nu_1} = \frac{0,294 \cdot 0,020}{6,260 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{939,349}} \quad \text{laminární proudění} \quad (5.4.4)$$

kde w_1 je rychlost proudění kapaliny, ν kinematická viskozita Solarenu při 20 °C.

5.4.1 Tlakové ztráty potrubí solárního okruhu

Výpočet třecí tlakové ztráty přímých částí potrubí:

$$\Delta p_{\lambda} = \lambda_1 \cdot \frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{w_1^2}{2} \cdot \rho_1 = 0,068 \cdot \frac{27,716}{0,020} \cdot \frac{0,294^2}{2} \cdot 1047 = \underline{\underline{4\,272,8\,Pa}} \quad (5.4.1.1)$$

kde λ_1 je součinitel třecí ztráty – pro laminární proudění: $\lambda_1 = 64 / Re$, l_1 je délka přímých částí potrubí.

Výpočet místní tlakové ztráty armatur a tvarovek – ukázka výpočtu pro koleno 90°:

$$\Delta p_{\xi-i} = \xi_i \cdot \frac{w_1^2}{2} \cdot \rho_1 \cdot z = 2 \cdot \frac{0,294^2}{2} \cdot 1024 \cdot 31 = \underline{\underline{2\,805,8\,Pa}} \quad (5.4.1.2)$$

kde ξ_i je součinitel místní ztráty z literatury [35], [9] nebo od výrobců, z je počet kusů.

Celková místní tlaková ztráta armatur a tvarovek:

$$\Delta p_{\xi} = \Sigma \Delta p_{\xi-i} \cdot 1,5 = \underline{\underline{4\,880,7\,Pa}} \quad (5.4.1.3)$$

Pozn. Výsledek místní tlakové ztráty je kvůli vyšší hustotě Solarenu při nižších teplotách a z důvodu laminárního proudění zvětšen o 50 % [5].

Tab. 5.4.1.1 – Místní tlakové ztráty jednotlivých prvků

Armatury, fitinky	z	ξ	$\Delta p_{\xi-i}$
Koleno 90°	31	2	2 805,8
Oblouk 124°	1	1	45,3
Oblouk 146°	1	1	45,3

Armatury, fitinky	z	ξ	Δp_{ξ,i}
Koleno 45°	3	0,6	81,5
T-kus	1	1,5	67,9
Zpětná klapka	1	1,1	49,8
El. ovládaný trojcestný ventil	1	1,5	67,9
Regulátor průtoku s ukazatelem	1	2	90,5
Tlaková ztráta místními odpory	Δp_ξ	4 880,7	[Pa]

Výpočet tlakové ztráty solárního výměníku v zásobníku:

$$\Delta p_{SOL} = \left(\lambda_1 \cdot \frac{l_{SOL}}{d_{SOL}} + \Sigma \xi \cdot 1,5 \right) \cdot \frac{\rho_1 \cdot w_1^2}{2} \quad (5.4.1.4)$$

$$\Delta p_{SOL} = \left(0,068 \cdot \frac{14,5}{0,027} + 8,8 \cdot 1,5 \right) \cdot \frac{1047 \cdot 0,294^2}{2} = \underline{\underline{2\,253,2\ Pa}}$$

kde l_{SOL} je délka solárního výměníku viz. kapitola 4.1, d_{SOL} je vnitřní průměr výměníku viz. opět kapitola 4.1, $\Sigma \xi$ je součet součinitelů místní ztráty – 11 závitů výměníku (1 závit = 2·oblouk 180°, $r/d > 4$, $\xi = 0,4$), místní tlakové ztráty opět zvětšeny o 50 % [5].

Pro přenesení tepelného výkonu kolektorů byl zvolen deskový výměník **Regulus DV 193-30**, pro plochu kolektorů 13 m², výkon 18 kW při $\Delta t = 20\ ^\circ\text{C}$ a průtoku 1 000 l·h⁻¹ [32].

Tlaková ztráta primáru deskového výměníku solární kapalina / topná voda:

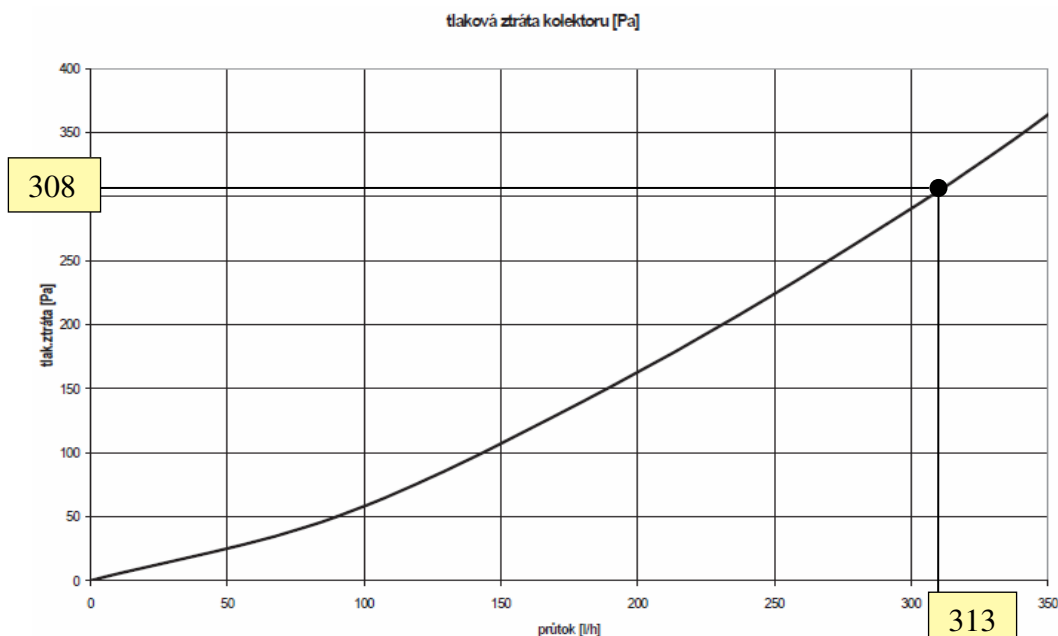
$$\Delta p_{DESK} = \underline{\underline{1962\ Pa}} \quad (5.4.1.5)$$

Pozn. Tlaková ztráta pro m_I (přepočtený na l·h⁻¹) z charakteristiky od výrobce [32].

Tlaková ztráta solárních kolektorů:

$$\Delta p_{KOL} = \Delta p_{KOL_1} \cdot pk = 308 \cdot 6 = \underline{\underline{1848\ Pa}} \quad (5.4.1.6)$$

kde Δp_{KOL_1} je tlaková ztráta jednoho kolektoru Regulus KPS11 - ALP určena pro průtok m_I (převezený na l·h⁻¹) z charakteristiky od výrobce [32], pk počet kolektorů.



Obr. 5.4.1.1 – Tlaková ztráta kolektoru Regulus KPS11 - ALP

Celková tlaková ztráta solárního okruhu:

$$\Delta p_{c-1} = \Delta p_{\lambda} + \Delta p_{\xi} + \Delta p_{SOL} + \Delta p_{DESK} + \Delta p_{KOL} \quad (5.4.1.7)$$

$$\Delta p_{c-1} = 4\,272,8 + 4\,880,7 + 2\,253,2 + 1\,962 + 1\,848 = \underline{\underline{15\,216,7 \text{ Pa}}}$$

5.4.2 Návrh čerpadla solárního okruhu, určení provozního bodu

Stanovení výpočtové dopravní výšky čerpadla:

Návrhový objemový průtok solární kapaliny:

$$\dot{Q}_1 = \frac{m_1}{\rho_1} \cdot \frac{1000}{60} = \underline{\underline{5,54 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}}} \quad (5.4.2.1)$$

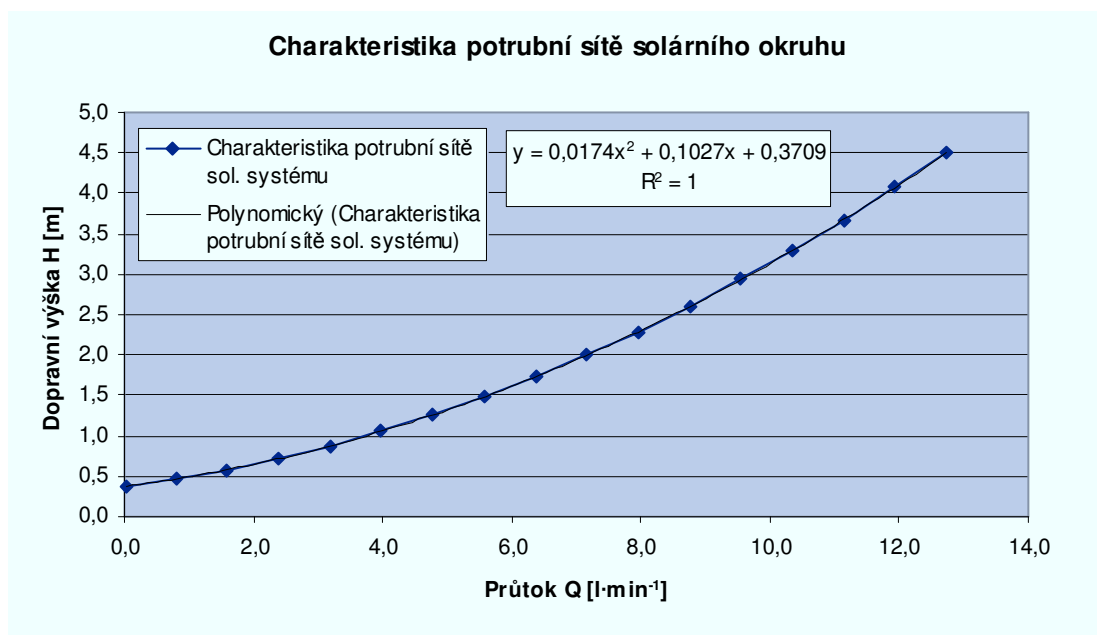
Výpočtová dopravní výška čerpadla:

$$H_{d-1} = \frac{\Delta p_c}{\rho_1 \cdot g} = \frac{15\,216,7}{1047 \cdot 9,81} = \underline{\underline{1,5 \text{ m}}} \quad (5.4.2.2)$$

Pro daný průtok a dopravní výšku volím čerpadlo **WILO-Star-ST 15/4**, max. dopravní výška 4 m, teplotní rozsah kapaliny -10 až 110 °C, 120 °C krátkodobě (2 h).

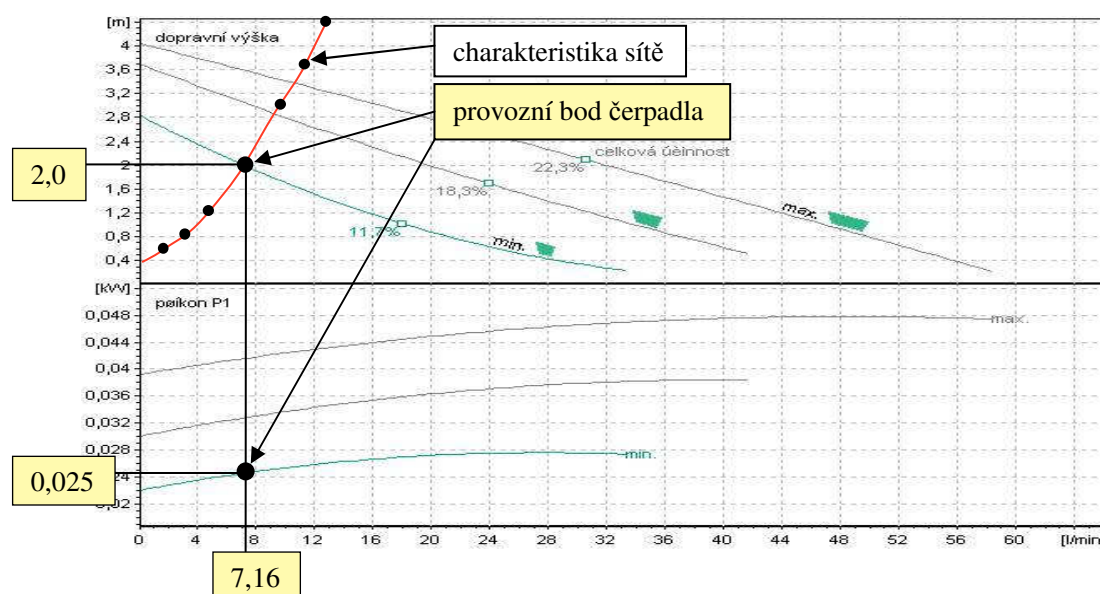
Stanovení průběhu charakteristiky potrubní sítě solárního okruhu:

Pro různé hodnoty průtoku byly určeny celkové tlakové ztráty a podle nich vypočtena dopravní výška čerpadla. Popsanou závislost vyjadřuje následující graf.



Obr. 5.4.2.1 – Tlaková charakteristika potrubní sítě solárního okruhu

Tlakovou charakteristiku potrubní sítě proložím do grafu, znázorňující tlakovou a příkonovou charakteristiku čerpadla a určím provozní bod.



Obr. 5.4.2.2 – Provozní bod čerpadla solárního okruhu, tlaková charakteristika [37]

Skutečný objemový průtok v provozním bodě odečteme z grafu. Jeho hodnota bude $Q_{I_skut} = 7,16 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Skutečnou dopravní výšku v provozním bodě odečteme také z grafu a její hodnota bude $H_{d_skut_I} = 2,0 \text{ m}$. Příkon čerpadla v provozním bodě taktéž určíme z grafu a bude $P_I = 0,025 \text{ kW}$.

5.4.3 Návrh tlakové expanzní nádoby solárního okruhu

Expanzní tlaková nádoba slouží k vyrovnávání teplotní roztažnosti kapaliny v topných okruzích s uzavřeným oběhem. U solárních systémů musí expanzní nádoba pojmout kromě změn objemu v potrubí i vypařený obsah kapaliny v kolektorech při stagnačním stavu (sluneční záření na kolektor dopadá, ale oběh v potrubí je zastaven) například při nahřátém zásobníku, kdy už není další teplo pro ohřev TV potřeba.

Předpoklady pro návrh expanzní tlakové nádoby solárního okruhu:

- vnitřní objem 1 metru potrubí solárního okruhu	$V_{potr} = 0,314 \text{ l}$
- objem 1 metru výměníku v solárním zásobníku	$V_{SOL} = 0,573 \text{ l}$
- objem kapaliny v solárním kolektoru KPS11 - ALP	$V_{KOL} = 2,2 \text{ l}$ [32]
- objem kapaliny v deskovém výměníku DV 193-30	$V_{DESK} = 0,4 \text{ l}$ [32]
- délka potrubí solárního okruhu	$l_{potr} = 27,716 \text{ m}$
- délka solárního výměníku v solárním zásobníku	$l_{SOL} = 14,5 \text{ m}$
- počet solárních kolektorů KPS11 - ALP	$pk = 6 \text{ ks}$
- minimální tlak v nejvyšším místě solární soustavy	$p_d = 150 \text{ kPa}$ [1]
- výška sloupce kapaliny nad připojením exp. nádoby	$h_s = 4,55 \text{ m}$
- otevírací tlak pojistného ventilu	$p_{PV} = 600 \text{ kPa}$
- atmosférický tlak	$p_b = 100 \text{ kPa}$

Pozn. Slovem tlak je v uvedeném výčtu i následujících výpočtech míněn přetlak vůči atmosférickému tlaku p_b .

Objem kapaliny v solárním systému:

$$V_1 = V_{potr} \cdot l_{potr} + V_{SOL} \cdot l_{SOL} + V_{KOL} \cdot pk + V_{DESK} \quad (5.4.3.1)$$

$$V_1 = 0,314 \cdot 27,716 + 0,573 \cdot 14,5 + 2,2 \cdot 6 + 0,4 = \underline{\underline{30,6 \text{ l}}}$$

Výpočet minimálního množství teplotnosné kapaliny ve studeném stavu:

$$V_{s_1} = 0,1 \cdot V_1 = 0,1 \cdot 30,6 = \underline{\underline{3,1 \text{ l}}} \rightarrow 10 \% \text{ z } V_1 [5] \quad (5.4.3.2)$$

Minimální objem expanzní tlakové nádoby:

$$V_{EN,\min_1} = V_s + V_1 \cdot \beta + pk \cdot V_{KOL} = 3,1 + 30,6 \cdot 0,1 + 6 \cdot 2,2 = \underline{\underline{19,3 \text{ l}}} \quad (5.4.3.3)$$

kde β je součinitel objemové roztažnosti Solarenu (směs propylenglykolu a vody) při 120 °C [1] – maximální dosažitelná teplota solární kapaliny.

Minimální provozní tlak soustavy = plnicí tlak:

$$p_{0_1} = \frac{h_s \cdot \rho_l \cdot g}{1000} + p_d = \frac{4,55 \cdot 1047 \cdot 9,81}{1000} + 150 = \underline{\underline{196,7 \text{ kPa}}} \quad (5.4.3.4)$$

kde ρ_l je hustota Solarenu při 20 °C.

Maximální provozní tlak soustavy:

$$p_{e_1} = 0,9 \cdot p_{PV} = 0,9 \cdot 600 = \underline{\underline{540 \text{ kPa}}} \quad (5.4.3.5)$$

Pozn. Vztah pro max. tlak soustavy při otevíracím tlaku poj. ventilu $p_{PV} > 300 \text{ kPa}$.

Přetlak plynu nad membránou expanzní nádoby:

$$p_{v_1} = p_0 - 30 = 196,7 - 30 = \underline{\underline{166,7 \text{ kPa}}} \quad (5.4.3.6)$$

Objem solární expanzní tlakové nádoby:

$$V_{EN_1} = V_{EN,\min} \cdot \frac{p_e + p_b}{p_e - p_0} = 19,3 \cdot \frac{540 + 100}{540 - 196,7} = \underline{\underline{36 \text{ l}}} \quad (5.4.3.7)$$

Navrhuji solární expanzní tlakovou nádobu **CIMM SOLAR CE 50l**, výrobce CIMM S.p.A., **objem 50 l** – nejbližší větší objem v konstrukční řadě oproti vypočtenému.

5.4.4 Pojistný ventil, expanzní a pojistné potrubí solárního okruhu

Tepelný výkon kolektorů [5]:

$$\dot{Q}_{k-1} = 0,7 \cdot A_k = 0,7 \cdot A_{a1} \cdot pk = 0,7 \cdot 2,26 \cdot 6 = \underline{\underline{9,492 \text{ kW}}} \quad (5.4.4.1)$$

Minimální průtočný průřez sedla pojistného ventilu:

$$S_{0-1} = \frac{\dot{Q}_p}{\alpha_v \cdot K} = \frac{9492}{0,444 \cdot 2,10} = \underline{\underline{10,2 \text{ mm}^2}} \quad (5.4.4.2)$$

kde Q_p je pojistný výkon, který je roven tepelnému výkonu kolektorů Q_{k-1} , α_v je výtokový součinitel pojistného ventilu **REGULUS, typ G1/2"F, 6 bar, 160 °C** [32], K je hodnota K pro p_{PV} (uvažují se hodnoty pro sytou vodní páru) [1].

Minimální vnitřní průměr expanzního potrubí [5]:

$$d_{v-1} = 10 + 0,6 \cdot Q_k^{0,5} = 10 + 0,6 \cdot 9,492^{0,5} = \underline{\underline{11,8 \text{ mm}}} \quad (5.4.4.3)$$

Minimální vnitřní průměr pojistného potrubí – může dojít k vývinu páry [5]:

$$d_{p-1} = 15 + 1,4 \cdot Q_k^{0,5} = 15 + 1,4 \cdot 9,492^{0,5} = \underline{\underline{19,3 \text{ mm}}} \quad (5.4.4.4)$$

5.5 Návrh okruhu pro podporu vytápění

Návrh okruhu pro podporu vytápění bude vycházet ze stejných vztahů, jako solární okruh, proto k jednotlivým bodům uvedu pouze odlišnosti ve výpočtu a konečné výsledky. Výpočet bude proveden při teplotě kapaliny 50 °C – střední teplota primáru výměníku = střední teplota sekundáru výměníku, rozměr trubky $\Phi 22 \times 1,0$.

5.5.1 Tlakové ztráty potrubí okruhu pro podporu vytápění

Místní tlakové ztráty nejsou na rozdíl od solárního okruhu zvětšeny o 50 %. V okruhu obíhá otopná voda, podrobné parametry média a úplný výpočet viz. „Solární zásobník_R1.xls“ na CD-ROMu „DIPLOMOVÁ PRÁCE, Bc. Pavel Richtár, 2011“.

Celková tlaková ztráta okruhu pro podporu vytápění:

$$\Delta p_{c_2} = \Delta p_{\lambda} + \Delta p_{\xi} + \Delta p_{DESK} \quad (5.5.1.1)$$

$$\Delta p_{c_2} = 1065,8 + 1702,1 + 2950 = \underline{\underline{5717,9 \text{ Pa}}}$$

5.5.2 Návrh čerpadla okruhu podpory vytápění, určení provozního bodu

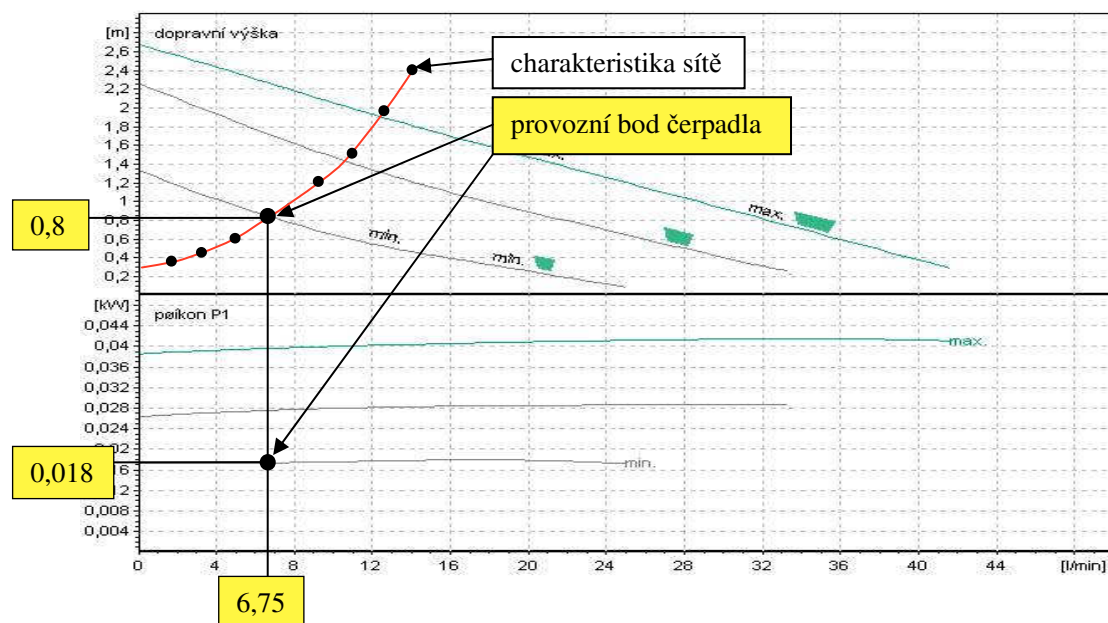
Návrhový objemový průtok solární kapaliny:

$$Q_2 = \frac{m_2}{\rho_2} \cdot \frac{1000}{60} = \frac{300}{988} \cdot \frac{1000}{60} = \underline{\underline{5,06 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}}} \quad (5.5.2.1)$$

Výpočtová dopravní výška čerpadla:

$$H_{d_2} = \frac{\Delta p_c}{\rho_2 \cdot g} = \frac{5717,9}{988 \cdot 9,81} = \underline{\underline{0,6 \text{ m}}} \quad (5.5.2.2)$$

Pro daný průtok a dopravní výšku volím čerpadlo **WILO-Star-RS 25/2**, max. dopravní výška 2,7 m, teplotní rozsah kapaliny -10 až 110 °C.



Obr. 5.5.2.1 – Provozní bod čerpadla podpory vytápění, tlaková charakteristika [37]

Skutečný objemový průtok v provozním bodě odečteme z grafu. Jeho hodnota bude $Q_{2_skut} = 6,75 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Skutečnou dopravní výšku v provozním bodě odečteme také z grafu

a její hodnota bude $H_{d_skut_2} = 0,8 \text{ m}$. Příkon čerpadla v provozním bodě taktéž určíme z grafu a bude $P_2 = 0,018 \text{ kW}$.

5.5.3 Návrh tlakové expanzní nádoby okruhu podpory vytápění

Okruh pro podporu vytápění bude napojen na stávající topný okruh přes nově instalovaný zásobník otopné vody **HERZ SLP 825**, objem 800 l. Topný okruh je vybaven původní tlakovou expanzní nádobou **REFLEX 35l** o objemu 35 l. Nově instalovaná expanzní nádoba bude pokrývat objemovou roztažnost v potrubí předávacího okruhu (okruh podpory vytápění) a zásobníku otopné vody.

Objem kapaliny v okruhu podpory vytápění a zásobníku:

$$V_2 = V_{potr} \cdot l_{potr} + V_{DESK} + V_{ZAS} = 0,314 \cdot 18,859 + 0,4 + 800 = \underline{\underline{806,3 \text{ l}}} \quad (5.5.3.1)$$

Výpočet minimálního množství teplonosné kapaliny ve studeném stavu:

$$V_{s_2} = 0,01 \cdot V_2 = 0,01 \cdot 806,3 = \underline{\underline{8,1 \text{ l}}} \rightarrow 1 \% \text{ z } V_2 [5] \quad (5.5.3.2)$$

Minimální objem expanzní tlakové nádoby:

$$V_{EN,min_2} = V_s + V_1 \cdot \beta = 8,1 + 806,3 \cdot 0,0431 = \underline{\underline{42,8 \text{ l}}} \quad (5.5.3.3)$$

kde β je součinitel objemové roztažnosti otopné vody při 90 °C - max. teplota OV.

Minimální provozní tlak soustavy [17]:

$$p_{0_2} = \frac{h_s \cdot \rho_2 \cdot g}{1000} + p_d = \frac{3,4 \cdot 988 \cdot 9,81}{1000} + 20 = \underline{\underline{53 \text{ kPa}}} \quad (5.5.3.4)$$

kde ρ_2 je hustota otopné vody při 50 °C (výpočtová teplota primáru solárního okruhu).

Počáteční tlak [17]:

$$p_{a_2} = p_0 + 30 = 53 + 30 = \underline{\underline{83 \text{ kPa}}} \quad (5.5.3.5)$$

Maximální provozní tlak soustavy:

$$p_{e_2} = p_{PV} - 50 = 300 - 50 = \underline{\underline{250 \text{ kPa}}} \quad (5.5.3.6)$$

Pozn. Vztah pro max. tlak soustavy při otevíracím tlaku poj. ventilu $p_{PV} \leq 500 \text{ kPa}$.

Přetlak plynu nad membránou expanzní nádoby [17]:

$$p_{v_2} = p_0 \cdot 1,3 = 53 \cdot 1,3 = \underline{\underline{68,8 \text{ kPa}}} \quad (5.5.3.7)$$

Objem solární expanzní tlakové nádoby:

$$V_{EN_2} = V_{EN, \min} \cdot \frac{p_e + p_b}{p_e - p_0} = 42,8 \cdot \frac{250 + 100}{250 - 53} = \underline{\underline{76,1 \text{ l}}} \quad (5.5.3.8)$$

Navrhuji expanzní tlakovou nádobu **CIMM ERE CE 80l**, výrobce CIMM S.p.A., **objem 80 l** – nejbližší větší objem v konstrukční řadě oproti vypočtenému.

5.5.4 Pojistný ventil, expanzní a pojistné potrubí okruhu podpory vytápění

Minimální průtočný průřez sedla pojistného ventilu:

$$S_{0_2} = \frac{\dot{Q}_p}{\alpha_v \cdot K} = \frac{28}{0,444 \cdot 1,26} = \underline{\underline{50,1 \text{ mm}^2}} \quad (5.5.4.1)$$

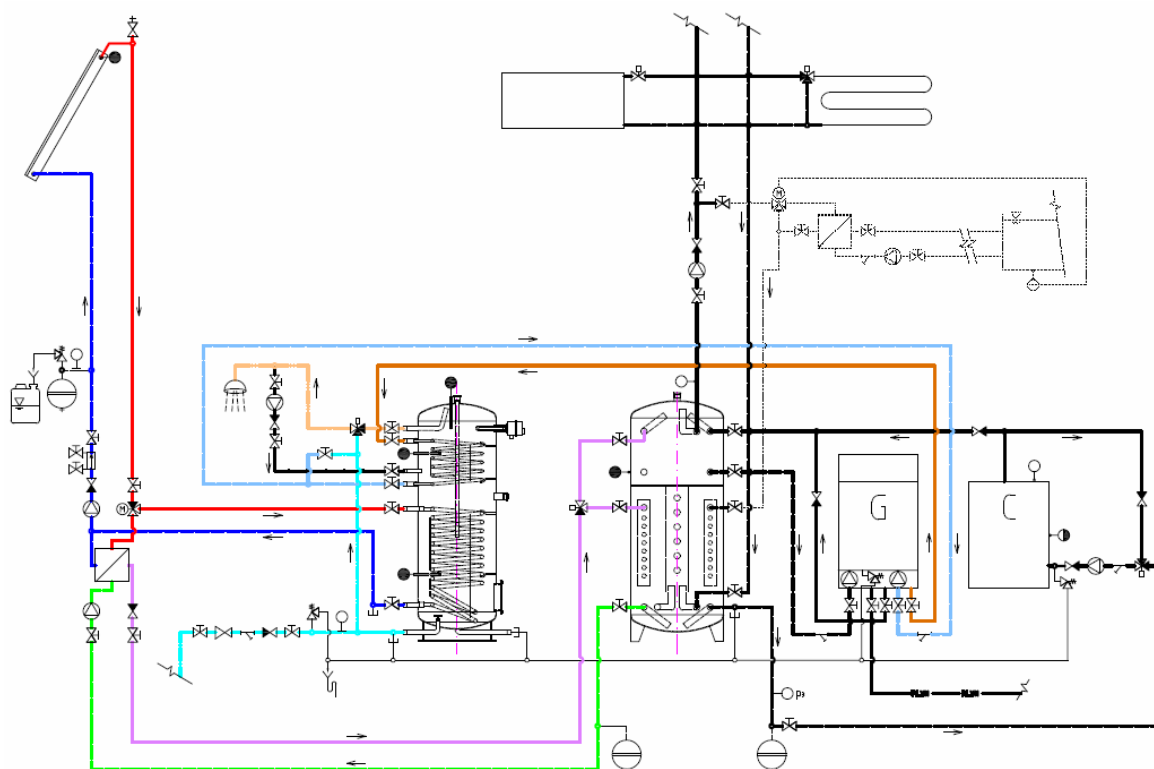
kde \dot{Q}_p je pojistný výkon, který je roven jmenovitému výkonu plyn. kotle \dot{Q}_k , α_v je výtokový součinitel poj. ventilu **REGULUS, G1/2"**, 3 bar, K je hodnota K pro p_{PV} [1].

Minimální vnitřní průměr expanzního potrubí [5]:

$$d_{v_2} = 10 + 0,6 \cdot \dot{Q}_k^{0,5} = 10 + 0,6 \cdot 28^{0,5} = \underline{\underline{13,2 \text{ mm}}} \quad (5.5.4.2)$$

Minimální vnitřní průměr pojistného potrubí – vývin páry vyloučen [5]:

$$d_{p_2} = d_v = \underline{\underline{13,2 \text{ mm}}} \quad (5.5.4.3)$$



Obr. 5.5.4.1 – Napojení solárního okruhu na topný systém, podrobně viz. Příloha J: výkres RIC150-01 (Schéma systému)

5.6 Energetická bilance solárního systému

Uvedu postup výpočtu spotřeby energie **čerpadla solárního okruhu a regulátoru REGULUS DeltaSol ES**. Postup výpočtu dalších čerpadel, která se účastní využití solární energie, je shodný. Doby provozu však budou různé (viz. kapitola 5.3.2).

5.6.1 Solární čerpadlo a regulátor – přebytky nevyužity

Příkon čerpadla:

$$P_1 = \underline{25 \text{ W}} = \underline{0,025 \text{ kW}} \quad (5.6.1.1)$$

Roční spotřeba energie čerpadla solárního okruhu:

$$E_{1_TV} = P_1 \cdot (\Sigma \tau_{1_TV_I-XII}) = 0,025 \cdot 1249,7 = \underline{31,242 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}} \quad (5.6.1.2)$$

Pozn. Římské číslice v indexu označují měsíc v roce.

Procento energie z ročního zisku solárního systému pro pohon čerpadla:

$$\%Zisk_{1_TV} = \left(\frac{E_{1_TV}}{(\Sigma Zisk_{TV_I-XII})} \right) \cdot 100 = \left(\frac{31,242}{4403,211} \right) \cdot 100 = \underline{\underline{0,7 \%}} \quad (5.6.1.3)$$

Příkon regulátoru [32]:

$$P_{reg} = \underline{3 \text{ W}} = \underline{\underline{0,003 \text{ kW}}} \quad (5.6.1.4)$$

Roční spotřeba energie regulátoru solárního okruhu (v provozu celý rok, tj. 8 760 hod):

$$E_{reg} = P_{reg} \cdot 8760 = 0,003 \cdot 8760 = \underline{\underline{26,280 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}}} \quad (5.6.1.5)$$

Procento energie z ročního zisku solárního systému pro provoz regulátoru:

$$\%Zisk_{reg} = \left(\frac{E_{reg}}{(\Sigma Zisk_{TV_I-XII})} \right) \cdot 100 = \left(\frac{26,280}{4403,211} \right) \cdot 100 = \underline{\underline{0,6 \%}} \quad (5.6.1.6)$$

5.6.2 Solární čerpadlo a regulátor – využití přebytky v přechod. obdobích

Roční spotřeba energie čerpadla solárního okruhu:

$$E_{1_TV+prebytky} = P_1 \cdot (\Sigma \tau_{1_TV+prebytky_I-XII}) \quad (5.6.2.1)$$

$$E_{1_TV+prebytky} = 0,025 \cdot 1422,7 = \underline{\underline{35,568 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}}}$$

Roční spotřeba regulátoru bude stejná, jako v předešlém případě.

Procento energie z ročního zisku solárního systému pro pohon čerpadla:

$$\%Zisk_{1_TV+prebytky} = \left(\frac{E_{1_TV+prebytky}}{(\Sigma Zisk_{TV+prebytky_I-XII})} \right) \cdot 100 \quad (5.6.2.2)$$

$$\%Zisk_{1_TV+prebytky} = \left(\frac{35,568}{5014,890} \right) \cdot 100 = \underline{\underline{0,7 \%}}$$

Procento energie z ročního zisku solárního systému pro provoz regulátoru:

$$\%Zisk_{reg} = \left(\frac{E_{reg}}{\Sigma Zisk_{TV+prebytky_I-XII}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{26,280}{5014,890} \right) \cdot 100 = \underline{\underline{0,5 \%}} \quad (5.6.2.3)$$

5.6.3 Solární čerpadlo a regulátor – využity veškeré přebytky

Roční spotřeba energie čerpadla solárního okruhu:

$$E_{1_TV+max_prebytky} = P_1 \cdot (\Sigma \tau_{1_TV+max_prebytky_I-XII}) \quad (5.6.3.1)$$

$$E_{1_TV+max_prebytky} = 0,025 \cdot 1781 = \underline{\underline{44,525 kWh \cdot rok^{-1}}}$$

Roční spotřeba regulátoru bude stejná, jako v předešlých případech.

Procento energie z ročního zisku solárního systému pro pohon čerpadla:

$$\%Zisk_{1_TV+max_prebytky} = \left(\frac{E_{1_TV+max_prebytky}}{\Sigma Q_{max_I-XII}} \right) \cdot 100 \quad (5.6.3.2)$$

$$\%Zisk_{1_TV+max_prebytky} = \left(\frac{44,525}{6288,260} \right) \cdot 100 = \underline{\underline{0,7 \%}}$$

Procento energie z ročního zisku solárního systému pro provoz regulátoru:

$$\%Zisk_{reg} = \left(\frac{E_{reg}}{\Sigma Q_{max_I-XII}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{26,280}{6288,260} \right) \cdot 100 = \underline{\underline{0,2 \%}} \quad (5.6.3.3)$$

5.6.4 Celková roční energetická bilance solárního systému

Celkovou roční energetickou bilanci solárního systému uvedu opět pro tytéž uvažované stavy, pro které byly stanoveny energetické bilance čerpadel. Při přípravě TV bude v provozu solární čerpadlo a regulátor. Při přípravě TV a podpoře vytápění bude v provozu solární čerpadlo, solární regulátor a v období s dostatkem záření také čerpadlo okruhu pro podporu vytápění. Ve třetím případě uvažuji navíc ještě provoz čerpadla topného okruhu, které mimo vytápění slouží i k využití letních tepelných přebytků. Dobu

provozu čerpadla topného okruhu do bilance v prechodných obdobiach nezahrnuji, jelikož by pracovalo i kdyby nebyl solární systém instalován.

Obecný vztah pro celkový roční energetický zisk solárního systému:

$$Zisk = \Sigma Q_{\max_{I-XII}} - E_1 - E_2 - E_3 - E_{reg} \quad (5.6.4.1)$$

kde $\Sigma Q_{\max_{I-XII}}$ je maximální energetický zisk solárního systému, E_1 je spotřeba energie solárního čerpadla, E_2 je spotřeba energie čerpadla okruhu pro podporu vytápění, E_3 je spotřeba energie čerpadla topného okruhu, E_{reg} je spotřeba energie solárního regulátoru.

Tab. 5.6.4.1 – Energetický zisk systému, solární energie využita jen pro přípravu TV

Veličina	Označení	Hodnota	Jednotka
Příkon čerpadla solárního okruhu Wilo Star-ST 15/4	P_1	25	W
Roční spotřeba energie čerpadla solárního okruhu	E_{1_TV}	31,242	kWh·rok ⁻¹
% energie ze zisku sol. systému pro pohon čerpadla	$\%Zisk_{1_TV}$	0,7	%
Příkon regulátoru solárního okruhu	P_{reg}	3	W
Roční spotřeba energie regulátoru a pokoj. jednotky	E_{reg}	26,280	kWh·rok ⁻¹
% energie ze zisku sol. systému pro činnost regulátoru	$\%Zisk_{reg}$	0,6	%
Celkový roční zisk energie solárního systému	$Zisk_{TV}$	4 345,690	kWh·rok⁻¹

Tab. 5.6.4.2 – Energetický zisk systému, příprava TV a vytápění v prechodných obdobiach

Veličina	Označení	Hodnota	Jednotka
Příkon čerpadla solárního okruhu Wilo Star-ST 15/4	P_1	25	W
Roční spotřeba energie čerpadla solárního okruhu	$E_{1_TV+prebytky}$	35,568	kWh·rok ⁻¹
% energie ze zisku sol. systému pro pohon čerpadla	$\%Zisk_{1_TV+prebytky}$	0,7	%
Příkon čerpadla podpory vytápění Wilo Star-RS 25/2	P_2	18	W
Roční spotřeba energie čerpadla pro podporu vytápění	$E_{2_TV+prebytky}$	3,115	kWh·rok ⁻¹
% energie ze zisku sol. systému pro pohon čerpadla	$\%Zisk_{2_TV+prebytky}$	0,1	%
Příkon regulátoru solárního okruhu	P_{reg}	3	W
Roční spotřeba energie regulátoru	E_{reg}	26,280	kWh·rok ⁻¹
% energie ze zisku sol. systému pro chod regulátoru	$\%Zisk_{reg}$	0,5	%
Celkový roční zisk solárního systému	$Zisk_{TV+prebytky}$	4 949,927	kWh·rok⁻¹
Zvýšení zisku energie při využití přebytků v prechodných obdobiach		12,2	%

Tab. 5.6.4.3 – Energetický zisk systému, využití veškeré tep. přebytky (teorie, nereálné)

Veličina	Označení	Hodnota	Jednotka
Příkon čerpadla solárního okruhu Wilo Star-ST 15/4	P_1	25	W
Roční spotřeba energie čerpadla solárního okruhu	$E_{1_TV+max_prebytky}$	44,525	kWh·rok ⁻¹
% energie ze zisku sol. systému pro pohon čerpadla	$\%Zisk_{1_TV+max_prebytky}$	0,7	%
Příkon čerpadla podpory vytápění Wilo Star-RS 25/2	P_2	18	W
Roční spotřeba energie čerpadla podpory vytápění	$E_{2_TV+max_prebytky}$	9,564	kWh·rok ⁻¹
% energie ze zisku sol. systému pro pohon čerpadla	$\%Zisk_{2_TV+max_prebytky}$	0,2	%
Příkon čerpadla topného okruhu Wilo Star-RS 25/4	P_3	46	W
Roční spotřeba energie čerpadla topného okruhu	$E_{3_TV+max_prebytky}$	24,441	kWh·rok ⁻¹
% energie ze zisku sol. systému pro pohon čerpadla	$\%Zisk_{3_TV+max_prebytky}$	0,4	%
Příkon regulátoru solárního okruhu	P_{reg}	3	W
Roční spotřeba energie regulátoru	E_{reg}	26,280	kWh·rok ⁻¹
% energie ze zisku sol. systému pro chod regulátoru	$\%Zisk_{reg}$	0,4	%
Celkový roční zisk solárního systému	$Zisk_{TV+max_prebytky}$	6 183,450	kWh·rok⁻¹
Zvýšení zisku energie při teoretickém využití veškerých přebytků		29,7	%

6 Environmentální zhodnocení

Environmentálním přínosem rozumíme snížení vypouštěných emisí z klasického zdroje instalací zařízení ke snížení spotřeby především fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn), ale také dalších paliv např. biomasa, lehký topný olej, atd. V této práci je oním zařízením solární systém. Teplo pro celoroční ohřev TV a vytápění poskytuje plynový kotel DAKON DUA, výkon 28 kW. Dalším zdrojem je kotel na tuhá paliva o výkonu 14 kW, ve kterém se topí výhradně dřevem. Provedu porovnání pro obě užívaná paliva.

6.1 Emise před instalací solárního systému

Tab. 6.1.1 – Hodnoty emisních faktorů pro stanovení emisí výpočtem [27]

Druh paliva	Tepelný výkon kotle	Tuhé látky	SO ₂	NO _x	CO	Org. látky	Jednotka	CO ₂	Jednotka (pro CO ₂)
Zemní plyn	≤ 0,2 MW	20,0	9,6	1 600,0	320,0	64,00	kg/10E6 m ³ spáleného plynu	0,2	t/MWh výhřevnosti

Druh paliva	Tepelný výkon kotle	Tuhé látky	SO ₂	NO _x	CO	Org. látky	Jednotka	CO ₂	Jednotka (pro CO ₂)
Dřevo	≤ 3 MW	12,5	1,0	3,0	1,0	0,89	kg/t spáleného paliva	0,0	t/MWh výhřevnosti

Pozn. Emise CO₂ se uvádějí při spalování biomasy nulové.

Ukázkový výpočet pro emise **tuhých látek (TZL)** při spalování **zemního plynu**.

Přepočet spalného tepla na výhřevnost [36]:

$$\dot{Q}_i = \frac{\dot{Q}_n}{1,11} = \frac{37,82}{1,11} = \frac{34,07 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}}{3600} = \frac{34,07 \cdot 1000}{3600} = \underline{\underline{9,46 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}}} \quad (6.1.1)$$

Roční spotřeba zemního plynu pro přípravu TV a vytápění před instalací sol. systému:

$$\dot{m}_{pal} = \frac{\dot{Q}_{TV+VYT}}{\dot{Q}_i \cdot \eta_{kotle}} = \frac{23995,865}{9,46 \cdot 0,89} = \underline{\underline{2848,7 \text{ m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}}} \quad (6.1.2)$$

kde \dot{Q}_{TV+VYT} je potřeba tepla pro TV a vytápění, η_{kotle} účinnost plynového kotle dle [36].

Roční emise tuhých znečišťujících látek:

$$TZL = \frac{f_{TZL}}{1000000} \cdot \dot{m}_{pal} = \frac{20}{1000000} \cdot 2848,7 = \underline{\underline{0,006 \text{ kg} \cdot \text{rok}^{-1}}} \quad (6.1.3)$$

kde f_{TZL} je emisní faktor tuhých látek dle [27], viz. Tab. 6.1.1.

Tab. 6.1.2 – Produkce emisí před instalací solárního systému

Emise [kg·rok ⁻¹]	Tuhé látky	SO ₂	NO _x	CO	Org. látky	CO ₂	Celkem
Zemní plyn	0,006	0,003	0,456	0,091	0,018	1,893	2,467
Dřevo	147,920	11,834	35,501	11,834	10,532	0,000	217,619

6.2 Emise po instalaci solárního systému

Emise po instalaci sol. systému bez využití přebytků v přechodných obdobích:

Výpočet emisí po instalaci solárního systému bude shodný, jako v kapitole 6.1, pouze potřeba tepla pro přípravu TV a vytápění klesne na 19 650,176 kWh·rok⁻¹.

Tab. 6.2.1 – Emise po instalaci sol. systému bez využití přebytků v přech. obdobích

Emise [kg·rok ⁻¹]	Tuhé látky	SO ₂	NO _x	CO	Org. látky	CO ₂	Celkem
Zemní plyn	0,005	0,002	0,373	0,075	0,015	1,550	2,020
Dřevo	121,131	9,690	29,071	9,690	8,625	0,000	178,208
Δ emise	18,1 %						

Emise po instalaci sol. systému s využitím přebytků v přechodných obdobích:

Výpočet emisí po instalaci solárního systému bude shodný, jako v kapitole 6.1, pouze potřeba tepla pro přípravu TV a vytápění klesne na 19 045,939 kWh·rok⁻¹.

Tab. 6.2.2 – Emise po instalaci sol. systému bez využití přebytků v přechod. obdobích

Emise [kg·rok ⁻¹]	Tuhé látky	SO ₂	NO _x	CO	Org. látky	CO ₂	Celkem
Zemní plyn	0,005	0,002	0,362	0,072	0,014	1,502	1,958
Dřevo	117,406	9,393	28,178	9,393	8,359	0,000	172,728
Δ emise	20,6 %						

7 Návratnost investic

7.1 Ekonomický přínos solárního systému

Solární systém je schopen dodat určité množství energie, o které je možno snížit potřebu stávajícího paliva pro pokrytí potřeby TV a vytápění. Stanovení daného ekonomického přínosu provedu pro obě používaná paliva, tedy zemní plyn a dřevo a to pro

dvě situace. První bude využití solární energie jen pro přípravu TV, druhou bude příprava TV s využitím energetických přebytků v přechodných obdobích pro vytápění.

Ukázkový výpočet pro palivo **zemní plyn**, kdy **nebudou využity tepelné přebytky**.

Konečná měrná cena paliva (zemního plynu):

$$c_{pal+ksc} = c_{pal} + \frac{(ksc \cdot 12)}{m_{pal}} = 12,38 + \frac{(327,86 \cdot 12)}{2848,7} = \underline{\underline{13,76 \text{ Kč} \cdot \text{m}^{-3}}} \quad (7.1.1)$$

kde c_{pal} je měrná cena paliva, ksc kapacitní složka ceny zemního plynu [36] (u dřeva se nevyskytuje) a m_{pal} je roční spotřeba paliva.

Tab. 7.1.1 – Výpočtová spotřeba a náklady na palivo před instalací solárního systému

Druh paliva	Výhřevnost	Potřeba tepla pro TV a vytápění		Účinnost kotle	Potřeba energie v palivu	Spotřeba paliva
	Q_i	Q_{TV+VYT}		η_{kotle}	Q	m_{pal}
Zemní plyn	[kWh·m ⁻³]	[kWh·rok ⁻¹]		[1]	[kWh·rok ⁻¹]	[m ³ ·rok ⁻¹]
	9,46	23 995,865		0,89	26 961,646	2 848,7
Dřevo	[kWh·kg ⁻¹]	[kWh·rok ⁻¹]		[1]	[kWh·rok ⁻¹]	[kg·rok ⁻¹]
	4,06	23 995,865		0,50	47 991,730	11 833,6
Druh paliva		Cena paliva	Kapacitní složka ceny		Náklady na palivo	
		c_{pal}	ksc		$náklady_{pal}$	
Zemní plyn		[Kč·m ⁻³]	[Kč·měsíc ⁻¹]		[Kč·rok ⁻¹]	
		12,38	327,86		39 201,52	
Dřevo		[Kč·kg ⁻¹]	-		[Kč·rok ⁻¹]	
		3,00	-		35 500,73	

Ekonomický přínos solárního systému (úspora tepla pro přípravu TV a vytápění):

$$Fp = \frac{c_{pal+ksc} \cdot Zisk_{TV}}{Q_i \cdot \eta_{kotle}} = \frac{13,76 \cdot 4345,690}{9,46 \cdot 0,89} = \underline{\underline{7099 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}}} \quad (7.1.2)$$

kde $c_{pal+ksc}$ je konečná měrná cena paliva stanovená k 1.1.2011, viz. [36], $Zisk_{TV}$ je energetický přínos systému, Q_i je výhřevnost paliva dle [36], η_{kotle} je účinnost kotle (v tomto případě plynového) dle [36].

Tab. 7.1.2 – Ekonomický přínos systému – palivo **zemní plyn**

Veličina	Označení	Hodnota	Jednotka
Měrná cena paliva	$c_{\text{pal+ksc}}$	13,76	Kč·m ⁻³
Výhřevnost paliva	Q_i	34,07	MJ·m ⁻³
		9,46	kWh·m ⁻³
Průměrná účinnost kotle	η_{kotle}	0,89	1
Přebytky v přechodných obdobích nevyužity			
Finanční přínos	F_p	7 099	Kč·rok⁻¹
Úspora nákladů na palivo	$\Delta \text{ náklady}_{\text{pal}}$	18,1	%
Přebytky v přechodných obdobích využity k podpoře vytápění			
Finanční přínos	F_p	8 087	Kč·rok⁻¹
Úspora nákladů na palivo	$\Delta \text{ náklady}_{\text{pal}}$	20,6	%

Tab. 7.1.3 – Ekonomický přínos systému – palivo **dřevo**

Veličina	Označení	Hodnota	Jednotka
Měrná cena paliva	c_{pal}	3,00	Kč·kg ⁻¹
Výhřevnost paliva	Q_i	14,60	MJ·kg ⁻¹
		4,06	kWh·kg ⁻¹
Účinnost kotle (včetně oběhového čerpadla)	η_{kotle}	0,50	1
Přebytky v přechodných obdobích nevyužity			
Finanční přínos	F_p	6 429	Kč·rok⁻¹
Úspora nákladů na palivo	$\Delta \text{ náklady}_{\text{pal}}$	18,1	%
Přebytky v přechodných obdobích využity k podpoře vytápění			
Finanční přínos	F_p	7 323	Kč·rok⁻¹
Úspora nákladů na palivo	$\Delta \text{ náklady}_{\text{pal}}$	20,6	%

7.2 Náklady na pořízení a instalaci solárního systému

Ceny jednotlivých komponentů systému budu z důvodu co nejnižší ceny celého systému určovat převážně podle internetových obchodů a pokud daná součást nebude k dispozici, zvolím cenu od výrobce, případně zprostředkovatele.

V prvé řadě budou určeny celkové náklady na materiál, následně připočítány náklady na dopravu materiálu na místo realizace (doprava z internetových obchodů, ze skladů firem

Regulus a Herz) a konečnou položku tvoří montáž systému, náklady na elektrickou revizi a uvedení do provozu. Cena systému byla uvažována pro dvě sazby DPH a to sníženou 10 %, (která se v době psaní práce vztahovala na systémy pro využívání tepelné energie slunečního záření pro obytné budovy) a základní 20 %.

Ukázkový výpočet provedu pro **sníženou sazbu DPH 10 %**.

Podrobné ceny jednotlivých komponentů systému viz. Příloha I. Celkové investiční náklady na materiál: Materiál = 226 118,42 Kč s DPH.

Náklady na dopravu materiálu jsem určil jako 5 % z nákladů na materiál:

$$Doprava = \frac{\text{Materiál}}{100} \cdot 5 = \frac{226118,42}{100} \cdot 5 = \underline{\underline{11305,92 \text{ Kč}}} \quad (7.2.1)$$

Náklady na instalaci solárního systému jsem určil jako 10 % z nákladů na materiál:

$$Instalace = \frac{\text{Materiál}}{100} \cdot 10 = \frac{226118,42}{100} \cdot 10 = \underline{\underline{22611,84 \text{ Kč}}} \quad (7.2.2)$$

Celkové investiční náklady na solární systém:

$$\text{Náklady} = \text{Materiál} + \text{Doprava} + \text{Instalace} \quad (7.2.3)$$

$$\text{Náklady} = 226118,42 + 11305,92 + 22611,84 = 260036,18 \cong \underline{\underline{260037,- \text{ Kč}}}$$

Celkové náklady na solární systém dosáhly výše **260 037,- Kč** při snížené sazbě DPH 10 %. Pro základní sazbu DPH 20 % budou celkové náklady **283 676,- Kč**.

7.3 Dotace

V době, kdy byl navrhován solární systém, popisovaný v této práci, běžel státní dotační program Zelená úsporám, spravovaný Státním fondem životního prostředí ČR (SFŽP). Z tohoto zdroje bylo možno získat dotaci na systém dané koncepce pro rodinný dům – solární systém pro přípravu TV a přitápění (při splnění všech podmínek) ve výši 80 000,- Kč + 10 000,- Kč na výpočet měrné roční potřeby tepla na vytápění a přípravu teplé vody + 5 000,- Kč na dokumentaci pro kontrolu správnosti provedení opatření.

Pro další výpočty uvažuji, že užitná výše dotace bude **80 000,- Kč**. Zbýlých 15 000,- Kč jsou výdaje nutné k získání dotace 80 000,- Kč (energetický audit budovy, vyřízení žádosti).

7.4 Stanovení prosté doby návratnosti investic

Stanovení prosté doby návratnosti celkových investic provedu ve vztahu k oběma užívaným palivům (zemní plyn, dřevo) pro stav, kdy využiji tepelné přebytky v přechodných obdobích pro vytápění. Návratnost posoudím ze dvou hledisek. Prvním bude prostá návratnost bez dotace a druhým prostá návratnost s uvažováním dotace.

Palivo zemní plyn:

Návratnost investic bez dotace (využití přebytků v přechodných obdobích), DPH 10 %:

$$\tau_p = \frac{\text{Náklady}}{F_p} = \frac{260037}{8087} = \underline{\underline{32 \text{ let}}} \quad (7.4.1)$$

Návratnost investic bez dotace při sazbě DPH 20 % je **35 let**.

Návratnost investic s dotací (využití přebytků v přechodných obdobích), DPH 10 %:

$$\tau_p = \frac{\text{Náklady} - \text{Dotace}}{F_p} = \frac{283676 - 80000}{8087} = \underline{\underline{22 \text{ let}}} \quad (7.4.2)$$

Návratnost investic s dotací při sazbě DPH 20 % je **25 let**.

Palivo dřevo:

Návratnost investic bez dotace (využití přebytků v přechodných obdobích), DPH 10 %:

$$\tau_p = \frac{\text{Náklady}}{F_p} = \frac{260037}{7323} = \underline{\underline{36 \text{ let}}} \quad (7.4.3)$$

Návratnost investic bez dotace při sazbě DPH 20 % je **39 let**.

Návratnost investic s dotací (využití přebytků v přechodných obdobích), DPH 10 %:

$$\tau_p = \frac{Náklady - Dotace}{Fp} = \frac{283\,676 - 80\,000}{8\,087} = \underline{\underline{25 \text{ let}}} \quad (7.4.4)$$

Návratnost investic s dotací při sazbě DPH 20 % je **28 let**.

8 Závěr

V této diplomové práci jsem provedl komplexní návrh solárního systému pro přípravu teplé vody a podporu vytápění rodinného domu. Z důvodu co nejnižších investičních nákladů byly zvoleny ploché solární kolektory se selektivním povrchem absorberu v počtu 6 kusů. Solární systém pokryje potřebu tepla na přípravu TV od února do října. Tepelné přebytky v měsících únor, březen, duben, září a říjen budou použity k podpoře vytápění. Na systém dané koncepce bylo možno získat dotaci z programu Zelená úsporám. Doba návratnosti investic byla stanovena vzhledem ke dvěma užívaným palivům v domě. V prvním případě jde o zemní plyn a prostá doba návratnosti činí 32 let bez započítání dotace, s dotací 22 let a to při snížené sazbě DPH 10 %. Druhým palivem je dřevo. Prostá doba návratnosti pak bude 36 let bez dotace, s dotací 25 let, opět při sazbě DPH 10 %. Při uvažování základní sazby DPH 20 % se doby návratnosti zvýší o 3 roky.

Zjištěná prostá návratnost odpovídá systémům podobné velikosti i určení (příprava TV a vytápění). Návratnost investice podobného typu však musíme hodnotit s přihlédnutím k vývoji cen energií a diskontu – výnosu z investice podobného typu či úroku ze vkladu na účet. Jestliže bereme v úvahu tyto ekonomické faktory, zjišťujeme tzv. reálnou dobu návratnosti. Zmíněné vstupy pro její výpočet (cena energie, diskont) jsou ale značně diskutabilní a jejich vývoj v horizontu několika let nestálý. Můžeme však říci, že vzhledem k vývoji cen energií v minulosti, budou tyto v budoucnu i nadále růst. Úroky dosažitelné na spořicí účtech stále klesají. Proto si dovoluji tvrdit, že by skutečná návratnost investic do popsaného systému mohla být kratší, než vypočtená. Veškeré výpočty byly provedeny v programu MS Excel 2003. Většina výsledků je zaokrouhlena na 3 desetinná místa.

Děkuji doc. Ing. Mojmíru Vrtkovi, Ph.D. za odborné rady a pomoc při psaní této diplomové práce.

9 Seznam použitých zdrojů

- [1] MATUŠKA, Tomáš. *Solární tepelné soustavy 1 sešit projektanta – pracovní podklady*. Praha : STP, 2009. 194 s. ISBN 978-80-02-02186-5.
- [2] LADENER, Heinz; SPÄTE, Frank. *Solární zařízení*. Praha : Grada, 2003. 268 s. ISBN 80-247-0362-9.
- [3] REMMERS, Karl-Heinz. *Velká solární zařízení*. Brno : ERA group spol. s r.o., 2007. 315 s. ISBN 978-80-7366-110-6.
- [4] KAMINSKÝ, Jaroslav; VRTEK, Mojmír. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80-7078-445-8.
- [5] ŠOUREK, Bořivoj. *Solární systémy – informační příručka pro projektanty*. Vyškov : QUANTUM, a.s., 2010. 39 s.
- [6] KADLEC, Zdeněk. *Sdílení tepla – návody do cvičení*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 79 s.
- [7] KRAMOLIŠ, Petr; VRTEK, Mojmír. *Tabulky pro stanovení hydraulické ztráty třením v kruhovém potrubí a hydraulické ztráty místními odpory při proudění teplotnosné kapaliny SOLAREN*. Praha : Technické vydavatelství Praha, 2004. 59 s. ISBN 80-903261-1-0.
- [8] BAŠTA, Jiří, et al. *Výkresová dokumentace ve vytápění 2 sešit projektanta – pracovní podklady*. Praha : STP, 1999. 40 s. ISBN 80-02-01286-0.
- [9] BYRTUS, Martin. *Fototermální systém pro rodinný dům : diplomová práce*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2004, 60 s.
- [10] ČSN 06 0210. *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. Praha : Český normalizační institut, 1994. 24 s.

- [11] VRTEK, Mojmír. *Materiály k předmětu Alternativní a obnovitelné zdroje energie I, 2.*
- [12] MILČÁK, Pavel. *Materiály k předmětu Přenos tepla a hmoty.*
- [13] KLEIN, S. A. EES – Engineering Equation Solver, výpočtový software, databáze pro propylenglykol. c2010.
- [14] HESTIA: Encyklopedie, 12.1. Potřeba tepla na vytápění [online]. c2008 [cit. 2011-01-24]. Dostupný z WWW:
<<http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/12.htm>>.
- [15] HESTIA: Encyklopedie, 13.1. Energetický štítek obálky budovy (ESOB) [online]. c2008 [cit. 2011-01-12]. Dostupný z WWW:
<<http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/13.htm>>.
- [16] RÁŽ, J. V. Fyzikální vlastnosti nemrznoucích směsí a navrhování soustav. *TZB-info* [online]. 1.11.2010 [cit. 2011-03-18]. Dostupný z WWW:
<<http://vytapani.tzb-info.cz/6899-fyzikalni-vlastnosti-nemrznoucich-smesi-a-navrhovani-soustav>>.
- [17] VANĚK, Vladimír. Vše o membránových expanzních nádobách. *TZB-info* [online]. 8.9.2009 [cit. 2011-03-15]. Dostupný z WWW:
<<http://www.tzb-info.cz/5894-vse-o-membranovych-expanznich-nadobach>>.
- [18] MATUŠKA, Tomáš. Ekonomika solárních tepelných soustav I. *TZB-info* [online]. 17.1.2011 [cit. 2011-03-30]. Dostupný z WWW:
<<http://energie.tzb-info.cz/solarni-kolektory/7072-ekonomika-solarnich-tepelnych-soustav-i>>.
- [19] MATUŠKA, Tomáš. Typy solárních kolektorů. *TZB-info* [online]. c2001-2011 [cit. 2011-04-13]. Dostupný z WWW:
<<http://energie.tzb-info.cz/solarni-kolektory/typy-solarnich-kolektoru>>.

- [20] *ApexEuro, s.r.o.* [online]. c2002-2011 [cit. 2011-04-01]. Solární zásobníky. Dostupné z WWW: <<http://www.apexeuro.cz/solarni-systemy/solarni-zasobniky/>>.
- [21] *Herz s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2010-11-08]. Vrstvové zásobníky. Dostupné z WWW: <<http://www.herz.cz/produkty/zasobniky/vrstvove-zasobniky/>>.
- [22] *MĚDportal.cz* [online]. 2007 [cit. 2010-04-01]. Fyzikální vlastnosti mědi. Dostupné z WWW: <<http://www.medportal.cz/o-medi/fyzikalni-vlastnosti>>.
- [23] *Coleman S.I., a.s.* [online]. 2002 [cit. 2011-04-03]. Solární systémy Bramac: Zdroj energie s budoucností. Dostupné z WWW: <http://e.coleman.cz/files/commodity/1_00499001_Katalog%20sol%c3%a1rn%c3%adho%20syst%c3%a9mu%20Bramac%20.pdf>.
- [24] *Velvana, a.s.* [online]. 12.9.2010 [cit. 2011-04-03]. Solaren® Fyzikální vlastnosti. Dostupné z WWW: <<http://www.velvana.cz/download/FV%20Solaren.pdf>>.
- [25] *Pro Steel, s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2010-05-02]. Hluboce klenutá dna Technokov Ltd. Dostupné z WWW: <<http://www.pro-steel.cz/?clanek=3>>.
- [26] *Pumpa, a.s. e-shop* [online]. 2011 [cit. 2011-03-31]. Katalog_NADOBY_CIMM.pdf. Dostupné z WWW: <http://obchod.pumpa.cz/pdf/Katalog_NADOBY_CIMM.pdf>.
- [27] *Katedra energetiky VŠB – TU Ostrava* [online]. 2011 [cit. 2011-03-10]. EmiseSFZP.doc. Dostupné z WWW: <http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/vrt/AOZE/ZZZ_Dipl_ENV/EmiseSFZP.doc>.
- [28] *SolarHit, HeatPipe System* [online]. 2011 [cit. 2011-04-11]. Solární záření v ČR. Dostupné z WWW: <<http://www.solarhit.cz/index.asp?menu=775>>.
- [29] *TZB-info.cz* [online]. c2001-2010 [cit. 2010-10-10]. Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů. Dostupné z WWW: <<http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich>>.

- [30] *Baumit* [online]. 2010 [cit. 2010-12-03]. Dostupné z WWW: [<http://www.baumit.cz/>](http://www.baumit.cz/).
- [31] *Novobilský, s.r.o.* [online]. 2009 [cit. 2010-10-02]. Dostupné z WWW: [<http://www.novobilsky.cz/>](http://www.novobilsky.cz/).
- [32] *Regulus, spol. s r.o.* [online]. 2011 [cit. 2010-03-10]. Dostupné z WWW: [<http://www.regulus.cz/>](http://www.regulus.cz/).
- [33] *Rockwool, a.s.* [online]. 2011 [cit. 2010-10-07]. Dostupné z WWW: [<http://www.rockwool.cz/>](http://www.rockwool.cz/).
- [34] *Solar Power CZ, s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2010-04-02]. Dostupné z WWW: [<http://www.solarpower.cz/>](http://www.solarpower.cz/).
- [35] *TZB-info.cz* [online]. c2001-2011 [cit. 2011-03-20]. Hodnoty součinitelů místních ztrát - zdroje tepla a základní tvarovky potrubí. Dostupné z WWW: [<http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/21-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-zdroje-tepla-a-zakladni-tvarovky-potrubí>](http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/21-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-zdroje-tepla-a-zakladni-tvarovky-potrubí).
- [36] *TZB-info.cz* [online]. c2001-2011 [cit. 2011-04-11]. Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva. Dostupné z WWW: [<http://vytapieni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/269-porovnani-nakladu-na-vytapieni-podle-druhu-paliva>](http://vytapieni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/269-porovnani-nakladu-na-vytapieni-podle-druhu-paliva).
- [37] *Wilo, s.r.o.* [online]. 2011 [cit. 2011-03-15]. Konstrukční řady Wilo A-Z. Dostupné z WWW: [<http://www.wilo.cz/cps/rde/xchg/cz-cs/layout.xsl/156.htm>](http://www.wilo.cz/cps/rde/xchg/cz-cs/layout.xsl/156.htm).
- [38] NOVÁK, Jiří. *Návrhové hodnoty činitele teplotní redukce podle ČSN 73 0540-3*. [online]. březen 2008 [cit. 2011-05-08]. Dostupný z WWW: [<http://kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=1159>](http://kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=1159).

10 Seznam příloh

Příloha A:	Tepelná ztráta jednotlivých místností rodinného domu dle ČSN 06 0210
Příloha B:	Měrné tepelné ztráty RD, hodnoty pro energetický štítek obálky budovy
Příloha C:	Vnitřní objem jednotlivých místností RD, výpočtové teploty
Příloha D:	Potřeba tepla pro přípravu teplé vody (TV)
Příloha E:	Potřeba tepla pro vytápění rodinného domu
Příloha F:	Výpočtová tabulka využitelné energie (hodnoty z databáze Meteonorm)
Příloha G:	Výpočtová tabulka tepelné bilance solárního systému
Příloha H:	Tepelná bilance RD a pokrytí potřeby tepla solárním systémem
Příloha I:	Soupis materiálu - investiční náklady na solární systém (DPH 10 %)
Příloha J:	Výkresová dokumentace:

- RIC150-RD_01	RODINNÝ DŮM - PŘÍZEMÍ
- RIC150-RD_02	RODINNÝ DŮM - PODKROVÍ
- RIC150-RD_03	RODINNÝ DŮM - ŘEZ A-A
- RIC150-RD_04	RODINNÝ DŮM - ŘEZ B-B
- RIC150-RD_05	RODINNÝ DŮM - STŘECHA
- RIC150-RD_06	DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ SYSTÉMU
- RIC150-01	SCHÉMA SYSTÉMU
- RIC150-SZ_R1/00	SOLÁRNÍ ZÁSOBNÍK R1 - výkres sestavení
- RIC150-SZ_R1/K	SOLÁRNÍ ZÁSOBNÍK R1 - seznam položek

Zvláštní příloha: CD-ROM „DIPLOMOVÁ PRÁCE, Bc. Pavel Richtár, 2011“:

- text diplomové práce (Diplomová práce.pdf, PDF Creator 0.9.8)
- přílohy diplomové práce (Diplomová práce - přílohy.pdf, PDF Creator 0.9.8)
- výpočet tepelných ztrát RD (Výpočet tepelných ztrát RD.xls, MS Excel 2003)
- výpočet a návrh solárního zásobníku (Solární zásobník_R1.xls, MS Excel 2003)
- návrh solárního systému (Návrh solárního systému 60°.xls, MS Excel 2003)
- výkresová dokumentace (Příloha J) ve formátu .pdf (PDF Creator 0.9.8)